



Vlaanderen
is erfgoed



Koolstofarm verwarmen en koelen van woningen met erfgoedwaarde: catalogus installaties

Agentschap
Onroerend
Erfgoed

Handleiding Onroerend Erfgoed

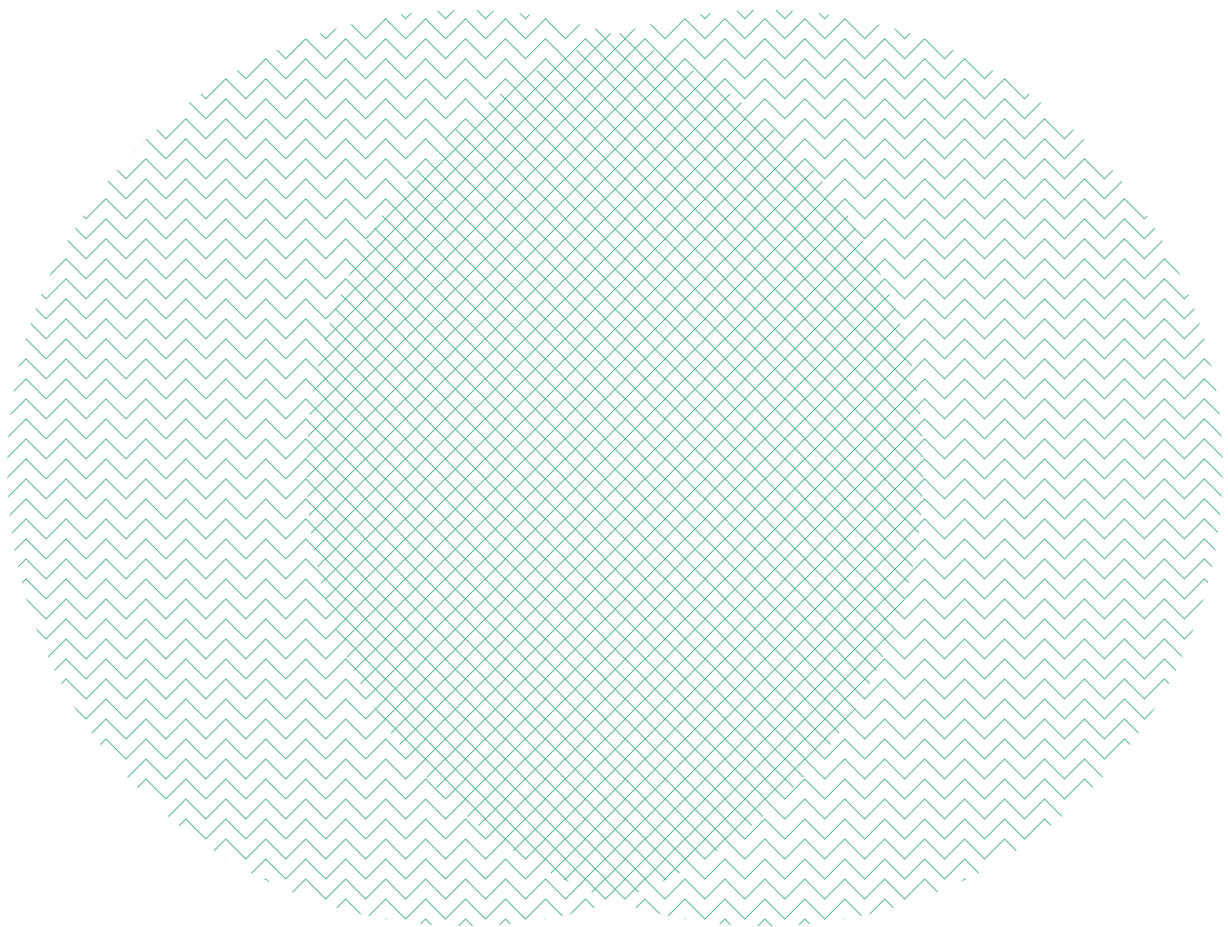
www.onroerenderfgoed.be

Koolstofarm verwarmen en koelen van woningen met erfgoedwaarde: catalogus installaties

Daidalos Peutz bouwfysisch ingenieursbureau: Filip Descamps, An-Heleen Deconinck,
Wouter Vandewalle, Friedl Decock, Dries Haesendonck

VITO: Pieter Bosmans, Randy Van Eck, Dorien Aerts

Buildwise: Roel Hendrickx, Margot De Pauw, Jeroen Van der Veken



COLOFON

TITEL

Koolstofarm verwarmen en koelen van woningen met erfgoedwaarde: catalogus installaties

REEKS

Handleidingen agentschap Onroerend Erfgoed nr. 31

AUTEURS

Daidalos Peutz bouwfysisch ingenieursbureau: Filip Descamps, An-Heleen Deconinck, Wouter Vandewalle, Friedl Decock, Dries Haesendonck

VITO: Pieter Bosmans, Randy Van Eck, Dorien Aerts

Buildwise: Roel Hendrickx, Margot De Pauw, Jeroen Van der Veken

JAAR VAN UITGAVE

2024

Een uitgave van agentschap Onroerend Erfgoed Wetenschappelijke instelling van de Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Omgeving
Published by the Flanders Heritage Agency Scientific Institution of the Flemish Government, policy area Environment

VERANTWOORDELIJKE UITGEVER

Peter De Wilde

LEDEN STUURGROEP

Agentschap Onroerend Erfgoed: Nathalie Vernimme, Ann-Katrijn Van Hootegem, Hilde Thibaut, Inge Appermont, Elke Denissen, Nancy Thiels, Anouk Decavele, Maarten Van Dijck,

Gorduna: Isolde Verhulst,

VEKA: Mieke Deurinck, Dieter Patteeuw

EINDREDACTIE

Nathalie Vernimme, Sen Dhollander

OMSLAGILLUSTRATIE

Binnenunit van monoblock warmtepomp installatie, ingewerkt in nis
© Dieter Daniels, Rooilijn Architectuur

agentschap Onroerend Erfgoed

Koning Albert II Laan 15 bus 236

1210 Brussel

T +32 2 553 16 50

info@onroenderfgoed.be

www.onroenderfgoed.be

Dit werk is beschikbaar onder de Modellicentie Gratis Hergebruik v1.0.

This work is licensed under the Free Open Data Licence v1.0.

Dit werk is beschikbaar onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationaal-licentie.

Bezoek <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> om een kopie te zien van de licentie.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

<https://doi.org/10.55465/BSON3530>

ISSN 2565-7003

D/2024/3241/207

Inhoudstafel

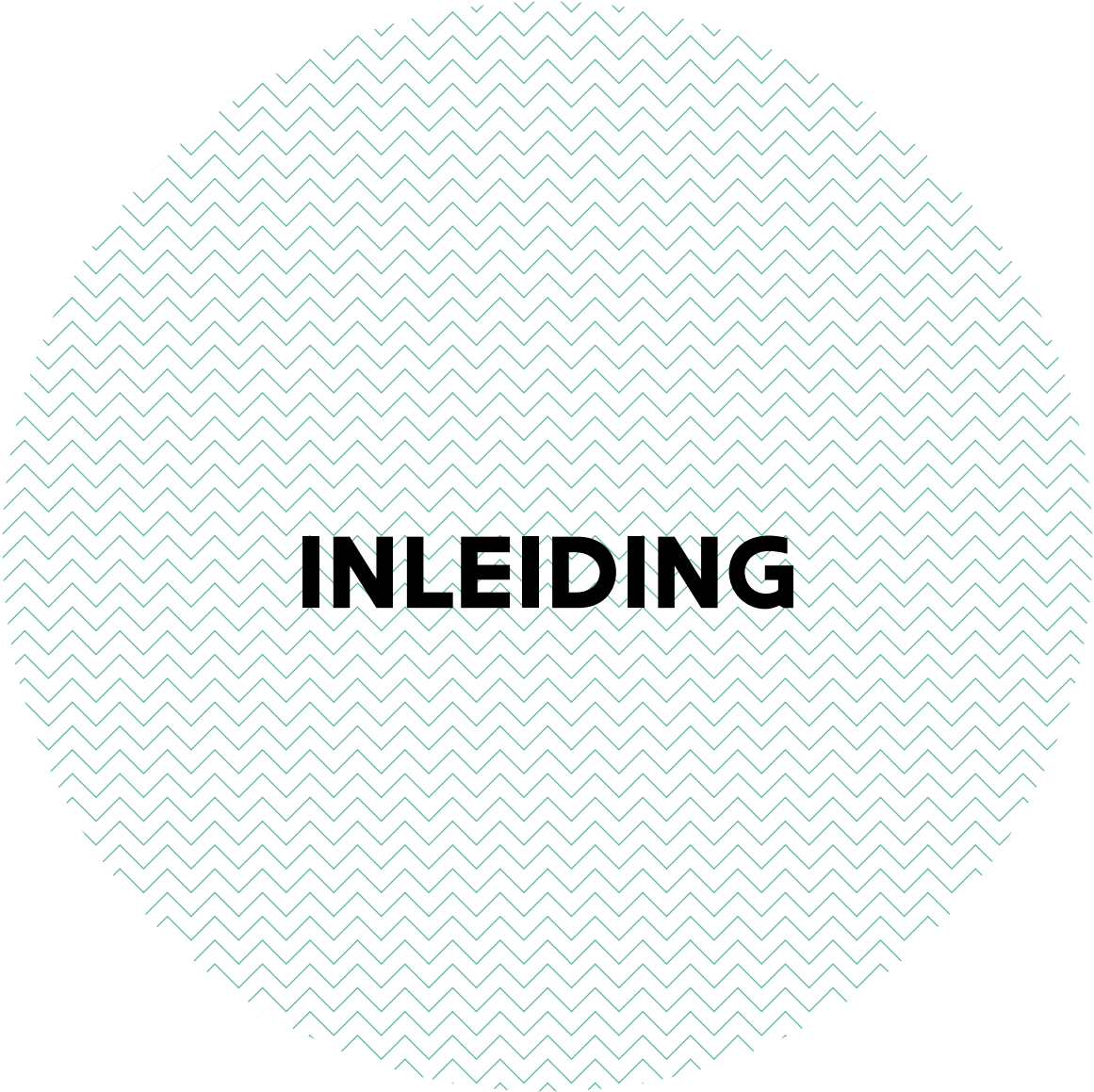
INLEIDING	9
0 / INLEIDING	10
0.1 Opbouw Context en ambitie	10
0.2 Opbouw Lijst van systemen	11
LUIK 1	15
CONTEXT EN AMBITIES	
1 / ALGEMENE DUURZAAMHEIDSAMBITIES	16
1.1 Europees en Vlaams kader: ambities voor 2030 en 2050	16
1.1.1 Europees kader	16
1.1.2 Vlaams kader	16
1.2 Energiedoelstellingen voor woningen met erfgoedwaarde	18
1.3 Algemene methoden voor de beoordeling van de duurzaamheid	19
1.4 Behoud van erfgoedwaarde	19
1.4.1 De bestaande instrumenten energie en erfgoed	19
1.4.2 Evaluatie van de impact op de erfgoedwaarde	20
1.4.3 Europese normering: aanpak van een erfgoedproject gericht op verbetering van de energieprestatie	21
1.4.4 Condiëtiemeting	21
1.4.5 Beoordeling van het gebruik van de woning	22
LUIK 2	27
LIJST VAN SYSTEMEN	
1 / OPWEKKINGSSYSTEMEN	28
1.1 Warmtenetten	28
1.1.1 Basisprincipes	28
1.1.2 Technische beoordelingscriteria warmtenetten	31
1.1.3 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	31
1.1.4 Evolutie van warmtenetten	34
1.2 Warmtepompen - algemeen	35
1.2.1 Basisprincipes	35
1.2.2 Technische beoordelingscriteria warmtepomp	36
1.3 Lucht/lucht warmtepomp	40
1.3.1 Werkingsprincipe	40
1.3.2 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	44
1.3.3 Voor- en nadelen	46
1.4 Lucht/water warmtepomp - algemeen	47
1.4.1 Basisprincipes	47
1.5 Lucht/water warmtepomp – split uitvoering	48
1.5.1 Werkingsprincipe	48
1.5.2 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	49
1.5.3 Voor- en nadelen	51

1.6 Lucht/water warmtepomp – monoblock uitvoering	53
1.6.1 Werkingsprincipe	53
1.6.2 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	55
1.6.3 Voor- en nadelen	57
1.7 Lucht/water warmtepomp – warmtepompboiler	58
1.7.1 Werkingsprincipe	58
1.7.2 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	60
1.7.3 Voor- en nadelen	61
1.8 Water/water (geothermische) warmtepomp – algemeen	61
1.8.1 Basisprincipes	61
1.8.2 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	63
1.9 Water/water warmtepomp – verticale systemen	64
1.9.1 Werkingsprincipe	64
1.9.2 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	65
1.9.3 Voor- en nadelen	67
1.10 Water/water warmtepomp – horizontale systemen	70
1.10.1 Werkingsprincipe	70
1.10.2 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	70
1.10.3 Voor- en nadelen	73
1.11 Hybride warmtepompen (tijdelijke oplossing)	74
1.11.1 Werkingsprincipe	74
1.11.2 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	75
1.11.3 Voor- en nadelen	76
1.12 Gasabsorptiewarmtepomp (tijdelijke oplossing)	76
1.13 Warmtepompen - Samenvatting	76
1.14 Zonnepanelen	78
1.14.1 Basisprincipes	78
1.14.2 Technische beoordelingscriteria zonnepanelen	84
1.14.3 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	89
1.15 Biomassaketels (onder voorwaarden)	93
1.15.1 Basisprincipes	93
1.15.2 Technische beoordelingscriteria biomassaketel	96
1.15.3 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	98
1.16 Warmte-kranchkoppeling installaties (tijdelijke oplossing)	100
1.16.1 Basisprincipes	100
1.16.2 Technische beoordelingscriteria Warmtekranchkoppeling	101
1.16.3 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	102
1.17 Gasketels (tijdelijke oplossing)	103
1.17.1 Basisprincipes	103
1.17.2 Technische beoordelingscriteria gasketels	105
1.17.3 Aandachtspunten in erfgoedwoningen	107
1.18 Technologie in ontwikkeling	108
1.18.1 Waterstofpaneel	109
1.18.2 Thermo-akoestische motor voor warmtepomp	109
1.18.3 Hoge temperatuur thermo-chemische warmtepomp	110
1.18.4 Seizoenswarmteopslag	111
1.18.5 Waterstofketels (H2 ready)	111
2 / WARMTE-AFGIFTE-ELEMENTEN	113
2.1 Basisprincipes	113
2.1.1 Werking van warmte-afgifte	113
2.1.2 Hydraulische aansluitingen	118
2.1.3 Verdeelsysteem	119
2.1.4 Radiatoren	122
2.1.5 Convectoren en ventilo-convectoren	125
2.1.6 Vloerverwarming	126

2.2	Technische beoordelingscriteria	127
2.2.1	Afweging tussen systemen: comfort en energie	127
2.2.2	Afweging tussen systemen: vermogen en regimetemperatuur	131
2.2.3	Correctie van afgifte bij niet-genormeerde opstelling	133
2.3	Aandachtspunten in erfgoedwoningen	135
2.4	Manieren om nieuwe of gerecupereerde afgiftelichamen te integreren	136
2.5	Recuperatie van bestaande afgifte-elementen en distributienetwerk	139
2.6	Samenvatting	140
3 /	VENTILATIESYSTEMEN	141
3.1	Basisprincipes	141
3.1.1	Bewuste versus onbewuste luchtverversing	141
3.1.2	Ventilatiestrategie	141
3.1.3	Piekventilatie versus BASISventilatie	142
3.1.4	Basisventilatiesystemen	143
3.1.5	Centrale versus decentrale ventilatie	143
3.1.6	Innovatieve ventilatiesystemen voor woningrenovatie	144
3.2	Aandachtspunten in erfgoedwoningen	146
3.3	Energetische aspecten	147
3.3.1	Warmterecuperatie	147
3.3.2	Vraagsturing	148
3.3.3	Hulpenergie	149
3.3.4	Energieprestatieregelgeving- ventilatie	149
3.4	Akoestische aspecten	150
3.5	Technische aandachtspunten	151
3.5.1	Impact van de luchtdichtheid van de gebouwschil	151
3.5.2	Buitenluchtvervuiling	151
3.5.3	Technische kwaliteitsaspecten	151
3.5.4	Onderhoud	152
3.6	Uitdagingen in een erfgoedcontext	152
3.6.1	Kanaaltracés	152
3.6.2	Openingen in de schil	157
4 /	LEXICON	160
5 /	BIJLAGEN	166
5.1	Vermogen van radiatoren	166
5.1.1	Paneelradiatoren	166
5.1.2	Kolomradiatoren	168
5.2	Types vloerverwarming	172
5.2.1	Systemen met buizen in de dekvloer	172
5.2.2	Systemen met buizen in de vloerisolatie	174
5.2.3	Systemen met geïntegreerde buizen in de vloerconstructie	175
	EINDNOTEN	178



Historische radiator met schotelverwarmer in historische woning in Molenbeek. / foto Onroerend erfgoed



INLEIDING

0 / INLEIDING

Deze geïllustreerde catalogus 'Koolstofarm verwarmen en koelen van erfgoedwoningen' is een van de resultaten van het in het kader van het Vlaams Klimaatfonds uitgeschreven onderzoeksproject over koolstofarme verwarming- en koeling van woningen met erfgoedwaarde.

De catalogus is opgebouwd uit twee luiken.

Een **eerste luik** betreft de **context en ambitie** van de studie.

Het **tweede luik** bevat een **overzicht van state-of-the-art systemen en componenten** voor (duurzame) warmte-opwekking, ventilatie en warmteafgifte met oog voor de belangrijkste hinderpalen en opportuniteiten bij integratie in erfgoedgebouwen.

De catalogus biedt een goed startpunt voor *bouwheren* die meer diepgaand willen kennismaken met duurzame technieken in erfgoedwoningen.

In het geheel van de output fungeert deze catalogus ook als een begeleidende tekst bij de afwegingsschema's (AWS) die ingrepen evalueren met betrekking tot de erfgoedwaarde en de beslissingsbomen voor systeemkeuzes. Het biedt de *ontwerper* houvast bij de keuzes die in de beslissingsbomen moeten gemaakt worden.

Het document heeft daarnaast als bedoeling om de bredere (installatietechnische) context van de keuzes te schetsen en zo het blikveld van de *ontwerpers en consulenten* te verbreden.

De technieken die in deze catalogus vermeld worden, geven een overzicht van wat vandaag technisch mogelijk is. Zij hebben hun efficiëntie en nut bewezen. Verder zijn zij voldoende ingeburgerd, zodat het vinden van installateurs met kennis ter zake mogelijk is.

Enkele beloftevolle technologieën voor de toekomst worden kort vermeld. Er wordt niet diep ingegaan op technieken die onvoldoende de ambitie naar een koolstofarme toekomst kunnen realiseren, noch op technieken of systemen die nog onvoldoende matuur zijn voor de markt.

0.1 OPBOUW CONTEXT EN AMBITIE

De eigenaar van een erfgoedwoning kan energiebesparende maatregelen nemen om een hoge stookfactuur te vermijden in tijden van volatiele energieprijzen. Maar vaker nog worden dergelijke maatregelen genomen in het kader van een bredere restauratie- of renovatiecampagne. In veel gevallen gebeurt dat kort na een eigendomswissel en soms wordt het van overheidswege opgelegd omdat de woning op het moment van aankoop geen EPC-label D haalt. Elk renovatieproject creëert een kans om meteen ook het comfort te verhogen en/of de installaties te upgraden of te vervangen. Het einde van de levensduur van een verwarmingsketel is ook een gelegenheid om het verwarmingssysteem als geheel te herdenken. De bouwheer en de ontwerper worden aangezet om ambities te formuleren op vlak van duurzaamheid op korte, middellange en lange termijn.

Dit luik beschrijft enkele relevante aspecten van de context van zo'n renovatie en reikt mogelijke trajecten aan om de vooropgestelde ambities te realiseren. De bredere context kan ontwerpers helpen om een gepaste aanpak te definiëren. Eerst geven we een overzicht van de **ambities en doelstellingen van de overheid**. We formuleren de energie-ambities uit het Vlaams Energie- en Klimaatplan (VEKP), de algemene duurzaamheidsambities en de methode om het bereikte duurzaamheidsniveau te evalueren. Vervolgens wordt kort ingegaan op **erfgoedwaardenstelling**, duurzaamheidsmeting in het algemeen, **conditiemeting** van een woning in huidige toestand en referenties voor het **beoordelen van binnenklimaat en comfort**.

0.2 OPBOUW LIJST VAN SYSTEMEN

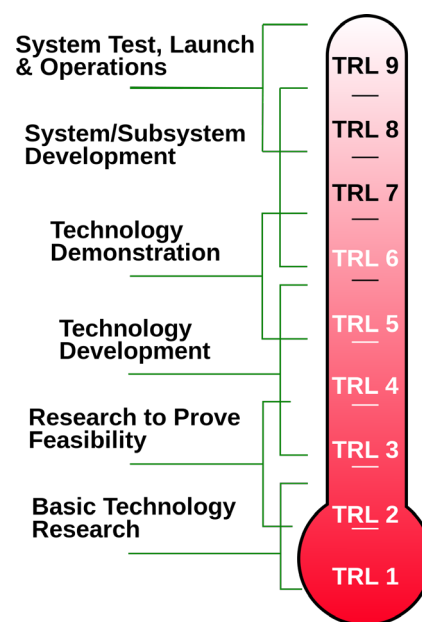
Een **tweede luik** van de catalogus omvat de lijst van systemen onderverdeeld in:

- opwekkingssystemen;
- afgiftesystemen;
- ventilatiesystemen.

Het **eerste deel** in de lijst van systemen gaat over **opwekkingssystemen**.

Een warmteopwekker is noodzakelijk om een gebouw te voorzien van warmte. Deze warmte beantwoordt aan een dubbele comfortvraag van de gebruiker:

- Een comfortabel binnenklimaat realiseren door middel van ruimteverwarming (en/of koeling);
- De gebruiker voorzien van sanitair warm tapwater.
- Het onderscheid tussen systemen die voldoende beproefd en beschikbaar zijn en systemen die nog te experimenteel en/of niet beschikbaar zijn, wordt gemaakt aan de hand van de **Technology Readiness Level** oftewel **TRL**. De TRL geeft in stappen van 1 tot 9 de maturiteit van een technologie, gaande van de observatie van de basisprincipes tot een “*actual system proven in operational environment*”, zoals aangegeven in Figuur 1.
- De definitie van elke stap is voor de Europese Unie omschreven in een document uit de context van het onderzoeksprogramma Horizon 2020¹. De catalogus bespreekt systemen met TRL 8 en 9 in detail. Het potentieel van enkele systemen met lagere TRL wordt verder in de tekst geduid, aan het einde van de sectie over opwekkings-systemen.



FIGUUR 1: TRL niveau's. bron: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level

Je kan warmte opwekken door verbranding van een (vaak) fossiele brandstof. Denk hierbij bijvoorbeeld aan mazout-ketels, gasketels, micro-warmtekrachtkoppelingssystemen (micro-WKK) of biomassaketels. Merk op dat bij verbranding van zowel fossiele brandstoffen als biomassa telkens het broeikasgas CO₂ wordt uitgestoten. Gezien het streven naar netto-uitstoot van nul broeikasgassen in de Europese klimaatdoelstellingen² willen we deze systemen waar mogelijk vermijden. Daarom worden deze systemen hier bewust gecatalogeerd als tijdelijke oplossing. De uitzondering op deze regel is de biomassaketel, met dien verstande dat de biomassa op een lokale, duurzame en hernieuwbare manier wordt bekomen.

Daarnaast is het mogelijk om warmte elektrisch op te wekken. Dat kan door warmte uit de omgeving te halen met behulp van een warmtepomp of door het activeren van een elektrische weerstand. In het geval van een warmtepomp wordt de warmte als hernieuwbaar bestempeld omdat de warmte grotendeels uit hernieuwbare bronnen kan gewonnen worden, bijvoorbeeld de buitenlucht, de bodem of het grondwater.

Systemen die koolstofneutraal of koolstofarm zijn, zijn klaar om aan de Europese doelstellingen voor klimaatneutraliteit tegen 2050 te voldoen. Merk op dat de koolstofintensiteit³ van de gebruikte elektriciteit om de installatie te doen werken hierbij niet over het hoofd gezien mag worden. Volledige koolstofneutraliteit kan slechts worden bereikt wanneer ook de elektriciteit op een duurzame manier wordt opgewekt.

In deze catalogus bespreken we volgende opwekkingssystemen:

- Warmtepompsystemen
- Warmtenetten
- Zonne-energiesystemen

Systemen die in grote mate afhankelijk zijn van de verbranding van fossiele brandstoffen, hebben een niet te onderschatten koolstofintensiteit. In weloverwogen omstandigheden van een specifieke context kunnen zij nog een tijdelijke oplossing bieden. Waar installatietechnisch en financieel mogelijk, wordt beter gekeken naar de oplossingen die vandaag al klaar zijn voor 2050.

In deze catalogus bespreken we volgende tijdelijke oplossingen:

- Condenserende gasketels;
- Micro-warmtekrachtkoppeling;
- Hybride opstelling warmtepompen.
- Bio-massaketels waaronder pelletketels

Een **tweede deel** gaat over **afgiftesystemen**. De termen 'afgiftesystemen', 'warmteafgiftetoestellen', 'warmteafgifte-elementen' of 'afgiftelichamen' zijn verzamelnamen voor radiatoren, convectoren en oppervlakte-verwarmingssystemen. Het zijn elementen die de warmte van een centraal verwarmingssysteem afgeven in de ruimte waarin ze zijn opgesteld. De warmte-afgiftetoestellen en de regeling bepalen hoeveel warmte wordt afgegeven in de woningruimtes. De warmte-opwekking en -distributie moeten zo gedimensioneerd zijn dat deze warmte kan geleverd worden.

In erfgoedwoningen zijn soms authentieke warmteafgifte-elementen aanwezig, zoals gietijzeren radiatoren die met een centrale opwekker zoals een kolenketel werden verwarmd. In zeldzame gevallen zijn ook decentrale kachels bewaard. Maar veelal is de installatie op een recentere datum al vernieuwd.

In deze catalogus bespreken we volgende afgiftesystemen:

- plaatradiatoren;
- kolomradiatoren;
- convectoren;
- vloerverwarming;
- muurverwarming.

Een **derde deel** gaat over **ventilatiesystemen**. We ventileren gebouwen om zo een gezond en comfortabel binnenklimaat voor de bewoners te realiseren. In gebouwen verontreinigen mensen, hun activiteiten, en materialen de binnenlucht. De belangrijkste pollutanten zijn vast (grof of fijn stof, pollen) of gasvormig (waterdamp, CO₂, geur, vluchtige organische stoffen, radon). Deze verontreinigingen worden afgevoerd door vervuilde binnenlucht te vervangen door verse buitenlucht. De verse buitenlucht bevat ook pollutanten, zij het in mindere mate dan de binnenlucht, en wordt bij voorkeur eerst gefilterd voor die wordt binnengebracht.

Als in de winter de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur, leidt de toevoer van verse buitenlucht en de afvoer van verontreinigde lucht tot een energieverlies. Omgekeerd betekent ventilatie bij een buitentemperatuur die hoger is dan de binnentemperatuur een energiewinst, en eventueel een verhoogde kans op (zomerse) oververhitting.

In deze catalogus bespreken we de standaard-ventilatiesystemen, maar ook innovatieve systemen die in het kader van een restauratie kunnen ingezet worden. We bespreken zowel centrale als decentrale systemen.

In de lijst van systemen worden bij elke technologie **mogelijke aandachtspunten** aangehaald die specifiek relevant zijn in de erfgoedcontext. We groeperen die aandachtspunten in **vier categorieën**:

- Buitenschil
- Interieur
- Omgeving en perceel
- Ontwerp en uitvoering

Deze categorieën stemmen niet één op één overeen met de lijst van waarden en kenmerken die het Agentschap hanteert, maar reiken een praktische benadering aan om systematisch alle nodige aspecten te checken. De vertaalslag van de aandachtspunten en categorieën naar de 13 erfgoedwaarden uit de methodiek van onroerend erfgoed wordt geduid in De Houwer V., Meganck L. & Van Herck K. 2023: Waarderen van erfgoed: erfgoedwaarden en criteria, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 13.

Deze categorieën vormen de basis van de afwegingsschema's en zijn in de tekst herkenbaar gemaakt in de lay-out:



IMPACT OP DE BUITENSCHIL

Bij dit onderdeel wordt gekeken naar de materiële impact op de directe buitenschil (gevel, dak, schrijnwerk) en of de installatie invloed heeft op het uitzicht. Moeten er bijvoorbeeld doorvoeren in de buitenschil gerealiseerd worden? In welke mate beïnvloeden installaties het visueel aspect van de gevel, het schrijnwerk of het dak?



IMPACT OP HET INTERIEUR

Bij dit onderdeel wordt gekeken naar de invloed op het interieur. Is er voldoende ruimte beschikbaar voor de installatie? Zijn er onderdelen van de installatie zichtbaar binnen het gebouw en is het ingenomen volume storend? Heeft de installatie invloed op de afwerking van de ruimte (muren, vloeren of plafonds)? Heeft de ingreep een storende impact op de binnenkant van het schrijnwerk?



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

Bij dit onderdeel wordt gekeken naar de invloed op het perceel. Zowel wat betreft het archeologisch erfgoed in de tuin en de ondergrond als de waardevolle landschapsaanleg en dus ook de directe invloed op lokale flora en fauna, waaronder waardevolle bomen en hun wortelstelsels. Moet er op perceelniveau ruimte beschikbaar zijn voor opstelruimte van de installatie?



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

Sommige aspecten van een installatie hebben geen directe invloed op de erfgoedwaarde van een woning maar kunnen de leefkwaliteit op een andere manier beïnvloeden. Gevolgen die hier bij horen zijn bijvoorbeeld comfort, schimmelvorming, vergunningstrajecten of de energiekosten van de bewoners.

Alvorens een (ingrijpende) energetische renovatie wordt opgestart, moet de toestand van zowel de gebouwschil als de installatietechnieken worden beoordeeld. Noodzakelijke herstellingen van het gebouw moeten worden uitgevoerd vóór of gelijklopend met de uitvoering van de energetische maatregelen. Dit zal de energieprestatie van het gebouw verbeteren en is belangrijk om fysieke schade aan het gebouw als gevolg van verdere ingrepen te voorkomen. Deze aspecten worden verder niet behandeld in deze catalogus; hun context wordt geschetst in het eindverslag.



Dubbel glas in bestaand schrijnwerk in Drongen / copyright Onroerend Erfgoed



LUIK 1

CONTEXT EN AMBITIES

1 / ALGEMENE DUURZAAMHEIDSAMBITIES

De eerste breed gedragen theorievorming rond duurzaamheid groeide in de jaren 1980 in de schoot van de Verenigde Naties. In het zogenaamde Brundtland-rapport wordt duurzame ontwikkeling beschreven als “development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”.⁴ In die tekst is al sprake van drie dimensies van duurzaamheid: de ecologische, economische en sociale dimensies. Aspecten van de drie dimensie interageren met elkaar. Aan die drie dimensies wordt soms ook een culturele dimensie toegevoegd, die als een deel kan gezien worden van de sociale (of omgekeerd).⁵ Toegepast op (historische) gebouwen kunnen de vier dimensies (ook ‘four pillars’ in het Engels) als volgt geconcretiseerd worden:

- **culturele dimensie:** Historische gebouwen vormen een eindige bron die zorgzaam beheerd moet worden om de betekenis van het erfgoed voor de huidige en toekomstige generaties te behouden. De erfgoedwaarde (zie verder voor een beschrijving) is niet alleen van belang voor de eigenaars en bewoners, maar ook voor de bredere groep mensen die zich op één of andere manier identificeren met gebouwen, buurten, steden, dorpen, ...
- **ecologische dimensie:** Materialen en energie worden gebruikt gedurende de gehele levenscyclus van een gebouw, met inbegrip van de bouw, de exploitatie, het onderhoud, de renovatie en de ontmanteling ervan. Historische gebouwen worden in stand gehouden door de bestaande materialen en constructies te respecteren, door de verwijdering of vervanging van nog functionele materialen te ontmoedigen en het gebruik van nieuwe materialen - die herinvestering van hulpbronnen en energie met extra broeikasgasemissies vereisen - te beperken. Energieverbruik moet hoofdzakelijk gebaseerd zijn op hernieuwbare bronnen en de laagst mogelijke broeikasgasemissies genereren.
- **economische dimensie:** Alle economische factoren, zoals de marktwaarde, de inkomsten en de exploitatiekosten van een historisch gebouw of het potentieel op vlak van toerisme en horeca, moeten een lange termijn gebruik ervan mogelijk maken. Renovatie moet betaalbaar worden voor een grote meerderheid van woningeigenaars.
- **sociale dimensie:** Een historisch gebouw draagt bij aan de lokale en sociale context, zowel qua functie als qua esthetiek en sociale betekenis. Erfgoedwaarde is altijd een collectief begrip, verbindt mensen en draagt zo ook altijd bij tot de sociale dimensie van een gebouw.

Bij het duurzaam beheer van gebouwen moet rekening worden gehouden met alle vier duurzaamheidsaspecten en gestreefd worden naar een passend evenwicht tussen deze aspecten, met dien verstande dat zij elkaar aanvullen en van elkaar afhankelijk zijn.

1.1 EUROPEES EN VLAAMS KADER: AMBITIES VOOR 2030 EN 2050

De Europese Unie heeft een roadmap voor 2050 opgesteld om tot een klimaatneutraal continent te komen. Hiervoor zijn investeringen nodig in alle sectoren (bouw, industrie, transport, voeding,...). Om deze langetermijndoelstellingen te realiseren, formuleert de EU kortere termijndoelstellingen voor de verschillende sectoren.

1.1.1 EUROPEES KADER

De Europese klimaatwet⁶ maakt de doelstelling om tegen 2030 de uitstoot van broeikasgassen te verminderen met minstens 55% een wettelijke vereiste, vandaar de roepnaam ‘Fit for 55’.⁷ Nationale en regionale wetgevers werken aan eigen wetgeving om dit te verwezenlijken. De doelstelling tegen 2050 gaat veel verder: tegen die datum moet Europa een klimaatneutraal continent worden.

Het gebruik van gebouwen in de EU is verantwoordelijk voor 40% van alle energieverbruik en 36% van de energie gerelateerde uitstoot van broeikasgassen. Bovendien is 75% van de gebouwen energetisch inefficiënt en heeft nood aan een ingrijpende energetische renovatie.

In eerste instantie moet het energieverbruik dalen door het isolatiepeil op te krikken en de gebruikte energie efficiënter in te zetten. Vervolgens moet de resterende energievraag zoveel mogelijk met lokaal opgewekte hernieuwbare energie ingevuld worden.

1.1.2 VLAAMS KADER

Het Vlaams Energie- en Klimaatplan (VEKP) omvat een uitgebreid pakket aan initiatieven en maatregelen die raken aan alle beleidsdomeinen van de Vlaamse Overheid. Vanaf 2021 moeten alle nieuwe gebouwen (bijna) energieneutraal

zijn. Met het huidige renovatietempo van 1% per jaar (aantal woningen gerenoveerd tot label A op het totaal aantal woning) is het onmogelijk om alle bestaande gebouwen tegen 2050 energieneutraal te maken. Daarom komt er een renovatieverplichting om zo het renovatietempo naar minstens 3%/jaar te kunnen tillen. Daarenboven is het belangrijk dat energetische renovaties voldoende grondig gebeuren. Gefaseerd renoveren is minder kostenoptimaal dan een grondige eenmalige renovatie.

Voorlopig worden in dit kader voor de bouwsector volgende maatregelen opgenomen:

- Er wordt een minimale EPC-norm ingevoerd voor residentiële en niet-residentiële gebouwen, die geleidelijk verstrengt. Voor woningen gaat het om mijlpalen in 2030 (label E), 2035 (label D) en 2040 (label C). Voor appartementen zijn er mijlpalen voorzien in 2030 (label D) en 2035 (label C).⁸
- Bij de aanvraag van een omgevingsvergunning voor ingrijpende energetische renovaties zullen vanaf 1 januari 2025 minimale installatierendementen worden opgelegd aan centrale verwarmingsinstallaties. Die minimale eis zal zodanig worden ingesteld dat minstens een warmtepomp moet worden geplaatst.
- Bestaande subsidies voor fossiele brandstoffen zullen worden afgebouwd. Zo zal de premie voor nieuw geplaatste aardgascondensatieketels worden stopgezet.
- De verhoogde premies voor (hybride) warmtepompen zullen verlengd worden voor aanvragen tot eind 2025.

1.1.2.1 BELEID ROND WARMTENETTEN

Beleidskader

Warmtenetten krijgen een prominente plaats in het Vlaamse Warmteplan 2025⁹. Daarmee geeft de Vlaamse Regering uitvoering aan de doelstellingen voor groene warmte en restwarmte die werden opgenomen in de beleidsnota Energie en het Vlaams Energie en Klimaatplan 2021-2030 (VEKP). Ook op Europees vlak wordt naar een hogere snelheid geschakeld in de warmtetransitie met Fit for 55¹⁰.

Daarnaast ondertekenden nagenoeg alle Vlaamse steden en gemeenten het Burgemeestersconvenant¹¹ en het Lokaal Energie- en Klimaatpact¹² met de Vlaamse Overheid. Ze engageren zich onder meer voor de opmaak van een lokaal warmteplan.

Het warmteplan bundelt de maatregelen om de warmtetransitie te bevorderen en schept het kader voor lokale warmteplannen. Daarnaast versterkt het de uitbouw van warmtenetten door o.a. jaarlijks twee calls¹³ te organiseren voor nieuwe projecten.

Ondersteuning

Naast het beleidskader zijn verscheidene organisaties actief in het ondersteunen van de uitrol van warmtenetten.

In de warmtegids¹⁴, uitgegeven door VVSG Netwerk Klimaat en VEKA, worden warmtenetten uitvoerig besproken als toekomstgerichte warmtesystemen.

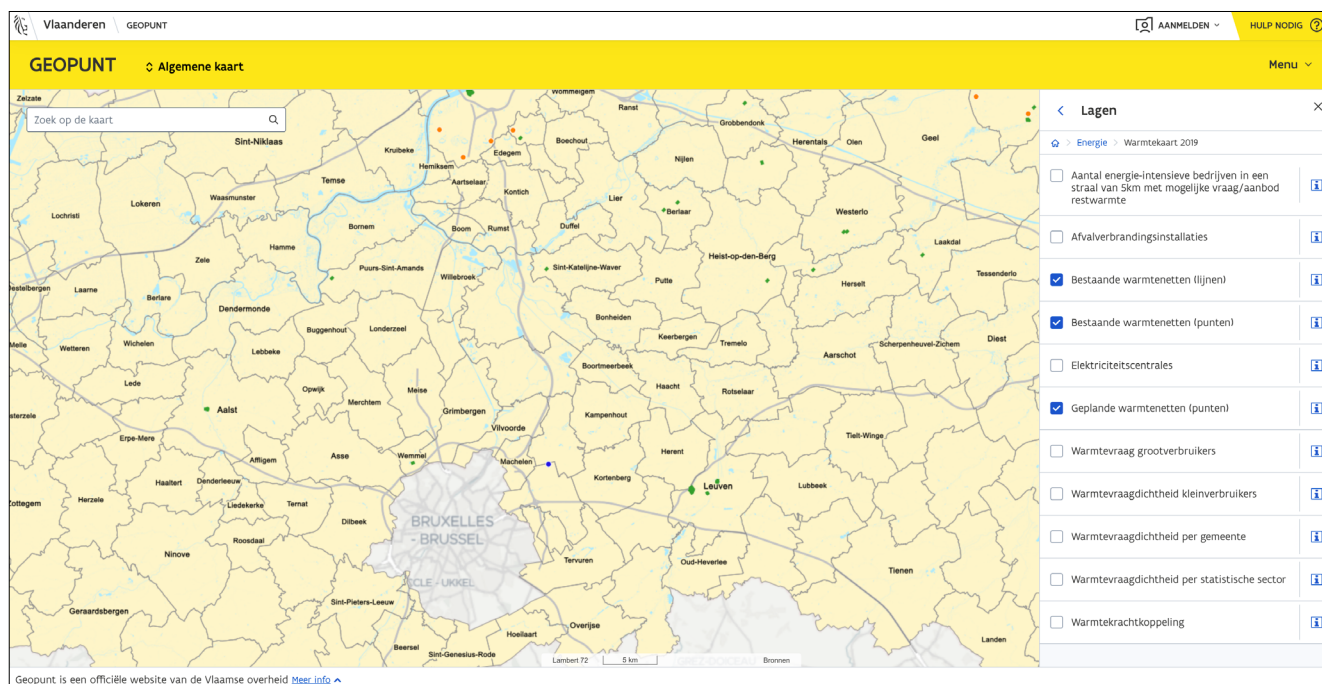
De Organisatie Duurzame Energie (ODE) heeft bovendien ook een leidraad¹⁵ uitgeschreven om lokale overheden te assisteren in hun regisseursrol.

Merk op dat zowel de beheerders als de leveranciers van warmte en koude de sociale openbaredienstverplichtingen¹⁶ moeten naleven. Dat zijn een aantal wettelijke verplichtingen op sociaal-economisch, ecologisch en technisch vlak.

Overzicht bestaande warmtenetten

De laatste informatie over de actieve warmtenetten wordt door de VREG verzameld in de Warmtenetkaart¹⁷. In februari 2023 telde Vlaanderen een 85-tal warmtenetten. Deze hebben in 2021 een totaal van 1.139 GWh aan bijna 7.000 eindafnemers geleverd.

De bestaande en geplande warmtenetten (gegevens tot 2019) worden verzameld in de Warmtekaart¹⁸.



FIGUUR 2: Warmtekaart Vlaanderen. Bron: <https://www.geopunt.be/shared/d1ab236e-d27d-4817-8d74-5b24df58bda>

1.2 ENERGIEDOELSTELLINGEN VOOR WONINGEN MET ERFGOEDWAARDE

Hoewel monumenten en woningen met erfgoedwaarde vandaag zijn vrijgesteld van veel regels en verplichtingen, wenst het beleid een evenwicht tussen een maatschappelijk gedragen erfgoedzorg en verschillende andere maatschappelijke doelstellingen waaronder het behalen van de klimaatdoelstellingen en het streven naar een meer circulaire economie.

De bouwtechnische en installatietechnische uitdagingen voor het CO₂-arm verwarmen en koelen van bestaande woningen zijn groot, onder meer omwille van:

- de hogere warmtevraag gelinkt aan de vaak ontoereikende isolatiekwaliteit van de bestaande gebouwschil;
- het feit dat de meeste gangbare nieuwe verwarmingssystemen zoals warmtepompen, verwarmen op lage temperatuur, wat moeilijk te combineren valt met de bestaande hogetemperatuursverwarming die nodig kan zijn om suboptimaal geïsoleerde gebouwen op comforttemperatuur te krijgen;
- de moeilijkheid om met grote boorinstallaties te werken voor geothermie of om de nodige sleuven en aansluitingen te graven in een stedelijke context (waar ook vaak archeologie aanwezig is);
- Bij woningen met erfgoedwaarde is het vraagstuk nog complexer door de moeilijkheid om een verwarmings-, koel- en ventilatiesysteem te integreren zonder de erfgoedwaarden te compromitteren. In eerste instantie gaat het dan over waarden verbonden aan gevels, daken en interieur, maar in tweede instantie ook om de waarden verbonden aan de omgeving, zoals beschermde tuinen of parken, waardevolle verharde zonder zoals terrassen of binnenkoeren, en naastliggende landschappen zoals boomgaarden of oprijlanen.

De afgelopen decennia lag het accent voor het beperken van CO₂-uitstoot van woningen met erfgoedwaarde voornamelijk op het zo goed mogelijk isoleren van de gebouwschil (dak, vloeren, ramen en gevels) en minder op de manier waarop (systeem en energiebron) warmte opgewekt, opgeslagen, gedistribueerd en afgegeven wordt.

Erfgoedconsulenten, eigenaars van beschermde erfgoedwoningen en professionals die hen begeleiden in de verduurzaming van hun gebouw willen we ondersteunen met:

- een catalogus van CO₂-arme systemen waarin zowel de werking als de impact van de verschillende technische installaties wordt uitgelegd, met bijzondere aandacht voor de integratie in erfgoedgebouwen
- afwegingsschema's en beslissingsbomen die helpen bij de keuze van een geschikte combinatie van systemen

1.3 ALGEMENE METHODEN VOOR DE BEOORDELING VAN DE DUURZAAMHEID

In 2011 publiceerde de Vlaamse Overheid een referentiedocument op het vlak van duurzaam bouwen in de residentiële sector: 'Duurzame woningbouw. Vlaamse maatstaf voor duurzaam wonen en bouwen'.¹⁹ Het is een afwegingsinstrument dat maatregelen bevat voor het bouwproces van woningen, opgedeeld in thematische hoofdstukken zoals water, energie, transport of materiaal en afval. De verschillende te nemen stappen om tot een duurzaam project te komen, worden opgesomd en geduid. Hierdoor krijgt de bouwheer, uitvoerder en architect een leidraad bij het realiseren van zijn project en wordt duurzaamheid meetbaar.

Recentere initiatieven van het Facilitair Bedrijf van de Vlaamse Overheid hebben geleid tot de ontwikkeling van een tool genaamd GRO, die van toepassing is op alle types gebouwen, zowel voor nieuwbouw als voor renovatie.²⁰ GRO beslaat criteria op vlak van 'climate responsive design', binnenklimaat en comfort, sociale aspecten, energie, materialen, water, omgeving, LCC, toekomstgericht en circulair ontwerpen en tot slot beheer en monitoring. Op dit moment kunnen berekeningen uitgevoerd worden in een reeks werkbladen die van de website gedownload kunnen worden. Elk criterium krijgt een score 'goed', 'beter' of 'uitstekend'. Een gewogen gemiddelde leidt dan tot een globale score voor het gebouw. Het is de bedoeling dat GRO uitgerold zal worden in de drie gewesten in één geüniformeerd formaat – GRO 3R – in de loop van 2024.

De verantwoordelijkheid voor het toepassen van de gekozen methode ligt in het algemeen bij de architect, maar zal in grotere projecten ook vaak opgenomen worden door gespecialiseerde ingenieursbureaus. Aangezien sommige thema's zoals akoestiek en interactie met de omgeving specifieke competenties vereisen, kunnen deeltaken ook opgenomen worden door meerdere specialisten, die toegevoegd worden aan het ontwerpteam.

1.4 BEHOUD VAN ERFGOEDWAARDE

1.4.1 DE BESTAANDE INSTRUMENTEN ENERGIE EN ERFGOED

Om de specificiteit van beschermde woningen in rekening te brengen moeten de impact van overwogen ingrepen w meegenomen worden als parameter in het ontwerp- en beslissingsproces. Voor wat betreft de gebouwschil, wordt verwezen naar bestaande afwegingsschema's voor dak-, muur- en vloerisolatie, voor schrijnwerk en voor zonne-energie.²¹ Deze schema's zijn opgesteld met volgende doelen voor ogen:

- geuanceerd: ze hebben de juiste nuance om tot de gepaste strategie voor energetische verbetering te komen: één of meerdere strategieën worden weerhouden, de juiste beslissingscriteria worden in rekening gebracht ;
- traceerbare onderbouwing: de afwegingsschema's bieden een duidelijke argumentatie waarom een bepaalde keuze gemaakt wordt. Het ingevulde afwegingsschema is zo een communicatie-instrument voor overleg tussen het ontwerpteam en de administratie voor onroerend erfgoed ;
- op maat van erfgoed: elke beschermde woning is anders, er wordt een strategie voorgesteld die zo goed mogelijk aansluit bij het specifieke geval ;
- valorisatie van bestaande kennis en volgens de huidige visie van het agentschap onroerend erfgoed: de afwegingsschema's zorgen voor een betere communicatie van de bestaande kennis, en de kans verhoogt dat ze in de toekomst worden geüpdatet om nieuwe kennis te kunnen verspreiden ;
- objectivering van beslissingen: de afwegingsschema's laten toe om op een objectieve en transparante manier te beslissen welke strategieën in aanmerking komen.

De bestaande methodiek is herwerkt tot een geïntegreerde methode voor het opstellen van een **Energieadvies Onroerend Erfgoed (EOE)** dat door erfgoedconsulenten opgesteld kan worden aanvullend aan een nieuw of recent opgemaakt EPC. Dit EOE heeft als output een pdf-document in gelijkaardige lay-out als het EPC en herneemt dan ook een opbouw van dat laatste. Voor elk element van een woning worden er specifieke erfgoedgebonden adviezen in gegeven die gegenereerd zijn met de afwegingsschema's.²²

1.4.2 EVALUATIE VAN DE IMPACT OP DE ERFGOEDWAARDE

Het Onroerenderfgoeddecreet onderscheidt 13 erfgoedwaarden in onroerend erfgoed.²³

1. Een onroerend goed heeft **archeologische** waarde als het betekenisvol kan bijdragen tot de reconstructie van de bestaansgeschiedenis van de mensheid en haar relatie tot de omgeving door de daar aanwezige overblijfselen, voorwerpen of sporen van de mens en zijn omgeving te behouden of ze met archeologische en natuurwetenschappelijke methoden te onderzoeken.
2. Een onroerend goed heeft **architecturale** waarde als het getuigt van een fase of aspect van de geschiedenis van de bouwkunst of de tuin- of de landschapsarchitectuur.
3. Een onroerend goed heeft **artistieke** waarde als het getuigt van een kunstzinnig streven van de maker of de ontwerper in het verleden.
4. Een onroerend goed heeft **culturele** waarde als het getuigt van opvattingen, normen, waarden, gebruiken, gewoonten en tradities in een bepaalde periode, regio of gemeenschap.
5. Een onroerend goed heeft **esthetische** waarde als het de waarnemer zintuiglijke schoonheid laat ervaren.
6. Een onroerend goed heeft **historische** waarde als het getuigt van gebeurtenissen en ontwikkelingen uit het verleden van de mens, van figuren of instellingen die de geschiedenis mee bepaalden of van historisch landgebruik.
7. Een onroerend goed heeft **industrieel-archeologische** waarde als het getuigt van ambachtelijke, proto-industriële of industriële activiteiten uit het verleden.
8. Een onroerend goed heeft **ruimtelijk-structurende** waarde als het de ruimte structureert, ordent, indeelt, afbakt of de blik van de waarnemer leidt.
9. Een onroerend goed heeft **sociale** waarde als het getuigt van een sociaal gebruik uit het verleden of als het op een bepaald moment in zijn bestaan gemeenschapsvormend heeft gewerkt.
10. Een onroerend goed heeft **stedenbouwkundige** waarde als het getuigt van de inrichting van de bebouwde ruimte in het verleden.
11. Een onroerend goed heeft **technische** waarde als het getuigt van de toepassing van cultuurtechniek of technieken of materialen in het verleden.
12. Een onroerend goed heeft **volkskundige** waarde als het getuigt van gebruiken en gewoonten, voorstellingen en tradities van een specifieke bevolkingsgroep of gemeenschap in het verleden.
13. Een onroerend goed heeft **wetenschappelijke** waarde als het kan bijdragen tot of heeft bijgedragen aan kennis of als het een typevoorbeeld is.

De Vlaamse overheid gebruikt vijf criteria om onroerend erfgoed te waarderen:

- zeldzaamheid
- representativiteit
- herkenbaarheid
- ensemble
- context.

Ze werden bepaald in het Onroerenderfgoedbesluit en gedefinieerd in de verschillende inventarismethodologieën.

Door het inzicht in de erfgoedwaarden en de expliciete beschrijving ervan in termen van erfgoedelementen en erfgoedkenmerken, kunnen weloverwogen beslissingen worden genomen bij het uitwerken en implementeren van renovatiestrategieën. In een woning met erfgoedwaarde zijn niet steeds alle schildelen even waardevol. Zo kan bijvoorbeeld in een beschermd stads- of dorpsgezicht de voorgevel van belang zijn voor de bescherming, maar de zijgevel niet. Of een element aan de binnenzijde kan meer of minder bijdragen tot de erfgoedwaarde dan de buitenzijde. Het blijft echter belangrijk om de impact van een maatregel op de bescherming van een gebouw in zijn geheel te bekijken. De erfgoedconsulenten gaan uit van het passief behoudsbeginsel: ze beoordelen ingrepen in zoverre ze het gebouw schaden, ontsieren of de erfgoedwaarde aantasten.

Dit kan aan de hand van de afwegingsschema's. De toepassing van bijvoorbeeld voor- of achterzetbeglazing hangt niet enkel af van de impact op de erfgoedwaarde van exterieur of interieur, maar is een beslissing die ook gemaakt

moet worden op basis van een reeks andere afwegingen (impact van integratie op waterdichting, detaillering binnen en buiten, energetische verbetering, ...)

Het aangeven of een element of onderdeel bijdraagt tot de erfgoedwaarde is essentieel om tot gerichte adviezen rond maatregelen te komen. In eerste instantie biedt het dossier bij het beschermingsbesluit daarover informatie. In tweede instantie biedt de erfgoedconsulent ondersteuning. En tenslotte zal de meer toegepaste waardenstelling ook de verantwoordelijkheid zijn van de ontwerper en de bouwheer, die een toelating/vergunning vraagt.

1.4.3 EUROPESE NORMERING: AANPAK VAN EEN ERFGOEDPROJECT GERICHT OP VERBETERING VAN DE ENERGIEPRESTATIE

De methodologie voor het bepalen van de energieprestatie van historische gebouwen wordt beschreven in de Europese norm EN 16883²⁴ *Conservation of cultural heritage – Guidelines for improving the energy performance of historic buildings* (2017).

Deze Europese norm legt bij de aanpak van een restauratiedossier sterk de nadruk op twee voorbereidende activiteiten: de conditiemeting en de risicobeoordeling. De Europese norm EN 16096 *'conservation of cultural heritage – Condition survey and report of built cultural heritage'* bevat richtlijnen voor de conditiebepaling van onroerend erfgoed. Hij vermeldt hoe het onroerend erfgoed moet worden beoordeeld, gedocumenteerd, geregistreerd en hoe er verslag moet worden over uitgebracht. De norm bevat de beoordeling van de conditie van een gebouw of andere structuur door visuele waarneming, indien nodig in combinatie met eenvoudige metingen. De relevante gegevens en documentatie over het onroerend erfgoed moeten worden verzameld en in het verslag worden opgenomen. Het materiaal-technisch (voor-)onderzoek maakt deel uit van de conditiemeting. De mogelijke implementatie van deze norm wordt gegeven in het kader van het onderzoek IEA SHC Task 59 'Renovating Historic Buildings Towards Zero Energy'.²⁵

1.4.4 CONDITIEMETING

De conditiemeting bestaat uit de waarneming, het onderzoek en de optekening tijdens de inspectie. Als de conditiebepaling aan het licht brengt dat er nood is aan uitgebreidere informatie, is dat terug te vinden als een aanbeveling in het conditieverslag.

In Vlaanderen inspecteert de organisatie 'Monumentenwacht' historische gebouwen. De fysieke toestand van deze gebouwen wordt door regelmatige inspecties opgevolgd en gedocumenteerd. Vervolgens wordt op basis van de bevindingen tijdens de inspecties een conditieverslag met een gedetailleerd overzicht van de problemen en daarop aansluitende aanbevelingen opgesteld.

In het kader van vooronderzoeken wordt vaak een schade inventaris opgemaakt van alle waargenomen problemen die reeds aanwezig zijn. De terminologie gebruikt in de beschrijving van de visuele schadebeelden kan bv. gebaseerd worden op EN 17135 *"Conservation of Cultural heritage – General terms for describing the alterations of objects"*. Deze Europese norm bepaalt termen die worden gebruikt in het domein van conservatie van erfgoed om de degradaties van objecten te beschrijven.

Een methode om houtconstructies te beoordelen wordt beschreven in EN 17121 *"Conservation of cultural heritage – Historic Timber Structures – guidelines for the On-Site Assessment"*. Doel van deze beoordeling is bepalen of de constructie geschikt is om de lasten te dragen die ze moet dragen en dat ook zal blijven in de nabije toekomst.

1.4.4.1 RISICOBEOORDELING EN AANBEVELINGEN

De risicobeoordeling analyseert de vermoedelijke oorza(a)k(en) en trigger(s) van de opgetekende conditie, externe invloeden, verwachte variaties, te verwachten gevolgen, de kans op verborgen schade, de te verwachten gevolgen voor de erfgoedwaarde.

De risicobeoordeling beoordeelt de urgentie van maatregelen op basis van 4 urgentiecategorieën (UC 0-1-2-3) en formuleert aanbevelingen voor maatregelen en eventueel verder onderzoek.

De beoordeling van de conditie wordt uitgevoerd in overeenstemming met EN 16096 *'conservation of cultural heritage – Condition survey and report of built cultural heritage'*. Er wordt aandacht besteed aan de interactie tussen roerend en onroerend erfgoed. De conditiemeting geeft een indicatie van de urgentie, risico-indeling en aanbevelingsklasse.

Urgentie-/risico-indeling (UC)

UC 1 Middellange termijn	UC 2 Korte termijn	UC 3 Dringend en onmiddellijk
-----------------------------	-----------------------	----------------------------------

Aanbevelingsklasse (RC)

RC 0 Geen maatregelen	RC 1 Onderhoud/preventieve conservatie	RC 2 Beperkte reparatie en/of verder onderzoek	RC 3 Grote ingreep op basis van diagnose
--------------------------	---	---	---

1.4.5 BEOORDELING VAN HET GEBRUIK VAN DE WONING

Op enkele uitzonderingen na, kan het behoud van een beschermd gebouw of gebouw van historische waarde in de eerste plaats worden gegarandeerd door het gebruik ervan. Ook al is dit gebruik slechts sporadisch, het kan helpen om achteruitgang en sloop te voorkomen.

1.4.5.1 BEZETTING EN GEBRUIKERSGEDRAG

Aanzienlijke energiebesparingen kunnen worden gerealiseerd door het gedrag van de gebruiker te veranderen (ook zonder het gebouw te veranderen). Aan de andere kant, wanneer een woning met erfgoedwaarde wordt gerenoveerd om de energieprestatie ervan te verbeteren, kan het soms toch minder energie besparen dan verwacht, omdat het gedrag van de gebruiker verandert, bijvoorbeeld door het verhogen van de binnentemperatuur of het comfortniveau.

Het definiëren van adequaat gebruik in relatie tot het potentieel en de beperkingen van het gebouw is een belangrijke factor voor het behoud van de betekenis van het erfgoed van een gebouw. Dit vereist de beschrijving en beoordeling van het gebouw:

- huidig gebruik van het gebouw;
- historisch gebruik van het gebouw;
- beoogd of gepland toekomstig gebruik van het gebouw.

Het toekomstige gebruik van de woning zal kritisch worden bekeken om te bepalen of en hoe het gebouw aan de moderne behoeften en eisen kan voldoen zonder dat het wezenlijk van invloed is op de erfgoedwaarde. De wens om de eisen te verhogen of om te voldoen aan de wettelijke vereisten kan zulke veranderingen aan het gebouw met zich meebrengen dat alternatieve scenario's voor toekomstig gebruik moeten worden overwogen. Er bestaat een sterk verband tussen de grootte en de impact van installaties en de belasting door de aanwezigheid van (een groot aantal) mensen.

1.4.5.2 BINNENKLIMAAT: STREEFWAARDEN EN EISEN

We maken een onderscheid tussen het bestaand binnenklimaat, de definitie van de vereisten voor het binnenklimaat en de impact van het buitenklimaat.

Het bestaand binnenklimaat kan worden gedocumenteerd door middel van metingen, wat vooral relevant is als er klimaatgevoelige erfgoedelementen of erfgoedobjecten aanwezig zijn. De norm EN 15757 "Conservation of Cultural Property - Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials" reikt hiervoor een methode aan. Op deze manier is het mogelijk om nuttige aanwijzingen te geven voor het verbeteren van de aanwezige klimaatomstandigheden en het bereiken van de gewenste omstandigheden. Een volledige analyse met het oog op het stellen van een diagnose voor de evaluatie van het milieu moet worden gepland en gedurende een representatieve periode worden uitgevoerd om de verschillende seizoenen, toepassingen en behoeften te dekken.

Volgende binnenklimaatparameters kunnen van belang zijn en kunnen dus op relevante en representatieve plaatsen in het gebouw gelogd worden, met een interval van 5 tot 15 minuten:

- binnenluchttemperatuur (nauwkeurigheid $\pm 0,5$ °C);
- relatieve vochtigheid (nauwkeurigheid $\pm 2,0$ %);
- CO₂-concentratie (nauwkeurigheid ± 50 ppm);

Bovendien kunnen deze parameters, indien relevant, worden bewaakt door ze te berekenen of te meten:

Thermisch comfort in termen van PMV (predicted mean vote)²⁶

- verontreinigende stoffen in de lucht (gasvormige verontreinigingen NO_x, formaldehyde, SO₂ en fijn stof (PM_{2,5} en PM₁₀))

Rekening houdend met de erfgoedwaardenstelling, moeten de vereiste binnenklimaatomstandigheden zorgvuldig worden doordacht en in vraag gesteld. Tegelijkertijd moet er een minimum aan comfort voor het gebruik van het gebouw worden geboden en moet er een economisch haalbare oplossing worden uitgewerkt met het oog op de exploitatiekosten.

In het algemeen moeten eerder bandbreedtes van tolereerbare binnenklimaten worden gedefinieerd in plaats van de ideale waarden. Als richtlijn voor musea, archieven en bibliotheken kan teruggesproken worden naar classificaties van controleklasse AA tot D uit het betreffende hoofdstuk van een ASHRAE-handboek.²⁷ Overdreven verwachtingen ten aanzien van de consistentie van het binnenklimaat kunnen in extreme gevallen het begin zijn van een nieuwe schadeketen. De technische strijd om ideale waarden te bereiken, kan leiden tot een onredelijk hoog, duur en energie-intensief gebruik van technologie met een hogere mate van storingsgevoeligheid.

Kritische situaties kunnen ontstaan wanneer waardevolle kunstwerken of historisch meubilair in historische woningen worden bewaard. Hier hebben zowel het gebouw zelf als het meubilair en de inrichting of afwerking een hoge culturele en materiële waarde, maar ze stellen soms andere eisen aan het binnenklimaat. In sommige gevallen zijn beperkingen op het gebruik van het gebouw de enige mogelijkheid om een aanvaardbaar binnenklimaat voor het te beschermen roerend of onroerend erfgoed te waarborgen.

De vraag moet gesteld worden wat de gevolgen zijn van aanpassingen aan de installaties (bv. verwarming van tot nu toe onverwarmde gebouwen). Verlichting, zonlicht en het binnenklimaat kunnen de structuur van het gebouw en het historisch erfgoed beschadigen. Scheurvorming, droging, vochtigheid en schimmel zijn vaak het gevolg van ongeschikte installatietechniek. In het planningsproces is kennis van de chemische, fysisch-chemische en biologische eigenschappen van de in en op het gebouw gebruikte materialen even nuttig en noodzakelijk als kennis van de bouwgeschiedenis.

Het behoud van een aanvaardbaar binnenklimaat, de kwaliteit van de binnenlucht en het comfort voor zowel mensen als het gebouwde en roerende erfgoed vormen het hoofddoel van de meeste gebouwen. Een slecht binnenklimaat kan een reden zijn om de energieprestatie van een gebouw te verbeteren. De vereisten voor het binnenklimaat worden bepaald aan de hand van algemeen aanvaarde criteria voor menselijk comfort en de criteria voor het behoud van interieurafwerkingen.

Algemene normen voor het binnenklimaat zijn:

- NBN EN 15251 *Binnenmilieu-gerelateerde inputparameters voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van binnenlucht, het thermisch comfort, de verlichting en akoestiek*
- ISO 17772-1 *Energy performance of buildings – Indoor environmental quality – Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings*

1.4.5.3 BINNENTEMPERATUUR

Voor het ontwerp van het verwarmingssysteem moeten ruimtetemperaturen worden overeengekomen, afhankelijk van het beoogde gebruik, het vereiste comfortniveau en de kenmerken van het gebouw. De norm NBN EN 12831 *Verwarmingssystemen in gebouwen - Methode voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting* is van toepassing. Gebeurt de berekening van de verwarmings- en koelbehoefte volgens EN ISO 13790, dan wordt aanbevolen om een maandelijks, of idealiter een dagelijkse of uurberekening te gebruiken. Bijzondere aandacht dient te worden besteed aan de verzameling van inputgegevens, aangezien standaard inputgegevens voor rekenmodellen niet altijd rekening houden met de specifieke omstandigheden in historische gebouwen.

Een te hoge binnentemperatuur kan in de winter tot een sterke daling van de relatieve vochtigheid in de ruimte leiden, vooral als er veel droge buitenlucht in het gebouw komt door een hoge luchtdoorlaatbaarheid van de gebouwschil of een hoog ventilatievoud. Na verloop van tijd kunnen deze omstandigheden leiden tot schade aan het eventueel aanwezige roerend erfgoed en aan kunstwerken, maar ook aan dragende houten structurelementen.

Bij aanwezigheid van waardevol erfgoed in het interieur, kan onderzocht worden of een basistemperatuur moet worden bepaald om schade (condensatie, waterschade, zomercondensatie, schimmel, vorstschade, etc.) en gevolgschade (bijv. zware vlekken op muren door schimmelvorming) te voorkomen. De basistemperatuur hangt af van de aard van de gebouwschil en van de gewenste comforttemperatuur. De basistemperatuur moet per gebouw worden vastgesteld en mag in het algemeen niet lager zijn dan 8-12 °C ('conservation heating').

Door het handhaven van een basistemperatuur tijdens periodes waarin een woning niet wordt gebruikt, wordt het temperatuurverschil tussen gebruiksperiodes en niet-gebruiksperiodes verminderd. Dit heeft positieve effecten op zowel de dimensionering van het verwarmingssysteem als op de bescherming van het roerend erfgoed. Voor ruimten met intermitterende verwarming moet ook worden verduidelijkt wat de maximale opwarmtijd is, en welke maximale temperatuurstijging per uur is toegestaan.

Relatieve vochtigheid

Veel traditionele bouwelementen, zoals trappen, parketvloeren, deuren en wandbekleding en de meeste meubels zijn gemaakt van hout of andere hygroscopische materialen. Deze materialen wisselen vocht uit met de binnenlucht. De verandering van de relatieve vochtigheid in de ruimte leidt altijd tot een verandering van de materiaalvochtigheid na een periode van balanceren en aanpassen.

Een te hoge materiaalvochtigheid veroorzaakt zwellen en het vochtige materiaal kan een voedingsbodem voor schimmel worden. Een vermindering van de materiaalvochtigheid leidt tot krimpen en uiteindelijk tot scheuren als de treksterkte wordt overschreden.

Het bereik van de relatieve vochtigheid in de ruimte moet worden vastgesteld afhankelijk van de eigenschappen van het gebouw, de aanwezige meubels en interieuraankleding en -objecten en het gebruik. Een bereik tussen ca. 45 % en 70 % relatieve vochtigheid is in veel gevallen effectief. Onder deze omstandigheden kan de dimensionale stabiliteit van de hygroscopische materialen worden verwacht. In individuele gevallen kan een smaller bereik nodig zijn. In dergelijke gevallen is controle van de relatieve vochtigheid vereist.

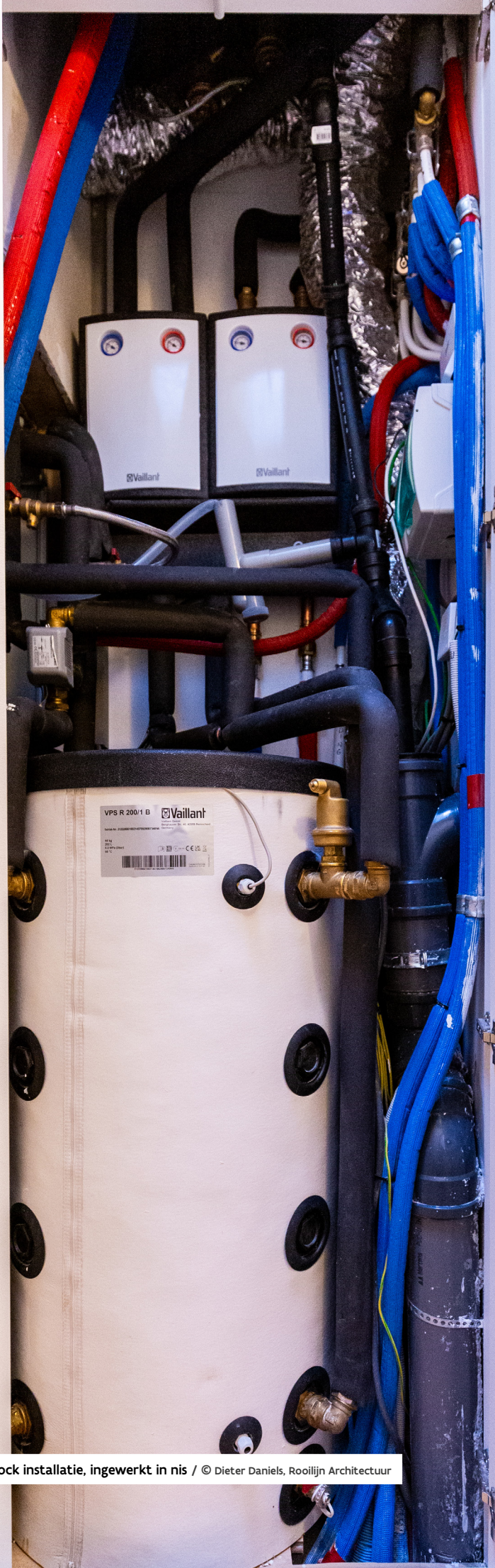
Er moet rekening worden gehouden met het extra vocht dat door personen en gebruik (bv. douchen, koken of de was drogen) wordt gegenereerd. Vooral gebeurtenissen met grote aantallen mensen, kunnen snel leiden tot een belangrijke toename van de relatieve vochtigheid, wat speciale technische maatregelen en controlestrategieën vereist.

Zeker bij bevochtigingssystemen kunnen de risico's van verkeerde bediening en onvoldoende onderhoud niet worden onderschat. Als mobiele bevochtigings- en ontvochtigingstoestellen worden gebruikt, moeten hun toekomstige locaties in de planningsfase (watervoorziening, condensafvoer) worden vastgelegd.

Om te voorkomen dat de relatieve vochtigheid in de winter te sterk daalt, kan de luchttemperatuur in leegstaande historische gebouwen om conserveringsredenen onder de comforttemperatuur gehouden worden. De temperatuur mag anderzijds niet lager zijn dan de basistemperatuur (zie hierboven 'conservation heating').

1.4.5.4 LUCHTDICHTHEID VAN DE GEBOUWSCHIL

Weersomstandigheden hebben een direct effect op het binnenklimaat in woningen door in- en exfiltratie van lucht. Dit is vooral een aandachtspunt in de wintermaanden, omdat een overmatige luchtuitwisseling met een laag vochtgehalte buiten snel kan leiden tot een sterke daling van de relatieve vochtigheid binnen. Openen en sluiten van deuren leidt uiteraard tot bijkomende luchtwisselingen. Door te werken met een sas of inkomhal kan de impact op de rest van het gebouw beperkt worden.



Binnenunit van monoblock installatie, ingewerkt in nis / © Dieter Daniels, Rooilijn Architectuur



LUIK **2**
**LIJST VAN
SYSTEMEN**

1 / OPWEKKINGSSYSTEMEN

In deze eerste paragraaf geven we een algemeen overzicht van warmteopwekkingssystemen. We maken onderscheid in de technologieën op basis van hun impact op de uitstoot van koolstof. Wanneer de technologieën koolstofvrij zijn, kunnen we stellen dat ze met zekerheid klaar zijn voor 2050. Technologieën die koolstofarm zijn, beschouwen we om die reden als tijdelijk. Ze moeten voor 2050 nog worden vervangen, of gecompenseerd met koolstofafvang.

We geven in een encyclopedische vorm componentfiches voor warmtenetten, warmtepompsystemen, zonnepanelen, biomassa-ketels, WKK-installaties en gasketels.

- Warmtenetten
- Warmtepompen - algemeen
 - Lucht/lucht warmtepomp
 - Lucht/water warmtepomp - algemeen
 - Lucht/water warmtepomp – split uitvoering
 - Lucht/water warmtepomp – monoblock uitvoering
 - Lucht/water warmtepomp – warmtepompboiler
 - Water/water (geothermische) warmtepomp – algemeen
 - Water/water warmtepomp – verticale systemen
 - Water/water warmtepomp – horizontale systemen
 - Hybride warmtepompen (tijdelijke oplossing)
 - Gasabsorptiewarmtepomp (tijdelijke oplossing)
 - Warmtepompen - Samenvatting
- Zonnepanelen
- Biomassa-ketels (onder voorwaarden)
- Warmte-krachtkoppeling installaties (tijdelijke oplossing)
- Gasketels (tijdelijke oplossing)
- Technologie in ontwikkeling
 - Waterstofpaneel
 - Thermo-akoestische motor voor warmtepomp
 - Hoge temperatuur thermo-chemische warmtepomp
 - Seizoenswarmteopslag
 - Waterstofketels (H2 ready)

1.1 WARMTENETTEN

1.1.1 BASISPRINCIPES

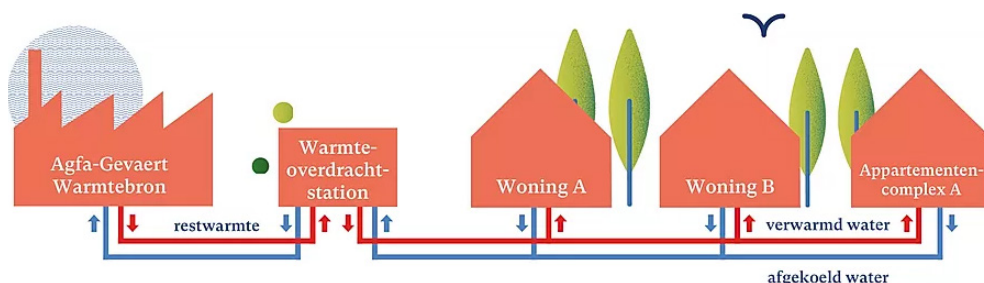
1.1.1.1 WERKINGSPRINCIPE

Een warmtenet is een warmtedistributiesysteem waarvan de centrale opwekker (of warmtebron) zich buiten het perceel van het gebouw bevindt. Er kunnen meerdere gebouwen aangesloten worden op een warmtenet.

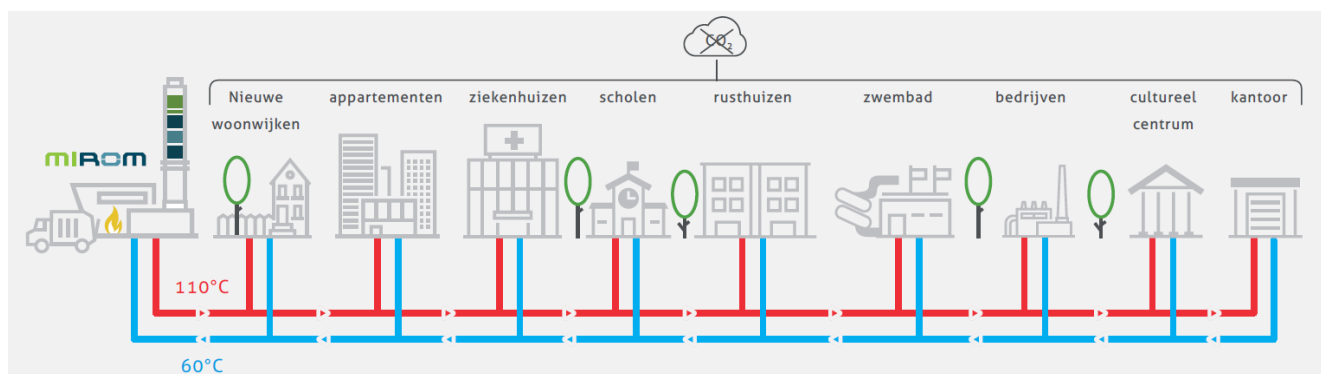
De productie van de warmte (de warmtebron) vindt plaats buiten het perceel, bijvoorbeeld door:

- een industrieel productieproces (bv. warmtenet op basis van restwarmte van Agfa-Gevaert op Figuur 3);
- afvalverbranding (bv. warmtenet op basis van de restwarmte van een verbrandingsoven op Figuur 4);

- een collectief warmtepompsysteem waarvan de warmtepomp zich op een centrale locatie bevindt. Bijvoorbeeld een warmte-koude opslagsysteem (KWO);
- collectieve levering van zonnewarmte.



FIGUUR 3: infographic warmtenet ZuidtrAnt-W op basis van restwarmte Agfa-Gevaert - © Warmteverzilverd



FIGUUR 4: infographic warmtenet Roeselare op basis van restwarmte van verbrandingsoven - © MIROM

De levering van deze externe energie is niet beperkt tot gebouwen op het eigen perceel. De toelevering van de energie is meestal grootschalig en bedoeld voor een groter aantal afnemers aangesloten op het warmtenet.

1.1.1.2 DE WARMTEBRON

Een warmtenet start vanuit één of meerdere warmtebronnen. Dit kan zowel een collectieve installatie zijn die specifiek ontworpen werd als bron voor het warmtenet (grote collectieve warmtepompen, biomassaketels...) als een industrieel proces waarvan de restwarmte wordt benut.

Een alternatieve opstelling is bovendien deze van de bronnetten. Hierbij wordt een collectieve bron aangesproken door individuele warmtepompen. Voorbeeld hiervan zijn geothermische boringen die worden benut door meerdere water/water warmtepompen van individuele gebouwen.

1.1.1.3 LEIDINGEN

Een warmtewisselaar draagt de warmte van de bron over op de vloeistof in de **transportleidingen**. Deze leidingen bevinden zich bijvoorbeeld onder het wegdek maar kunnen ook langs het plafond van een kelder lopen. Verticale distributie van de warmte en/of koude voor bijvoorbeeld een appartementencomplex is in sommige gevallen mogelijk. Hiervoor moet er een geschikte verticale schachtenstructuur aanwezig zijn.

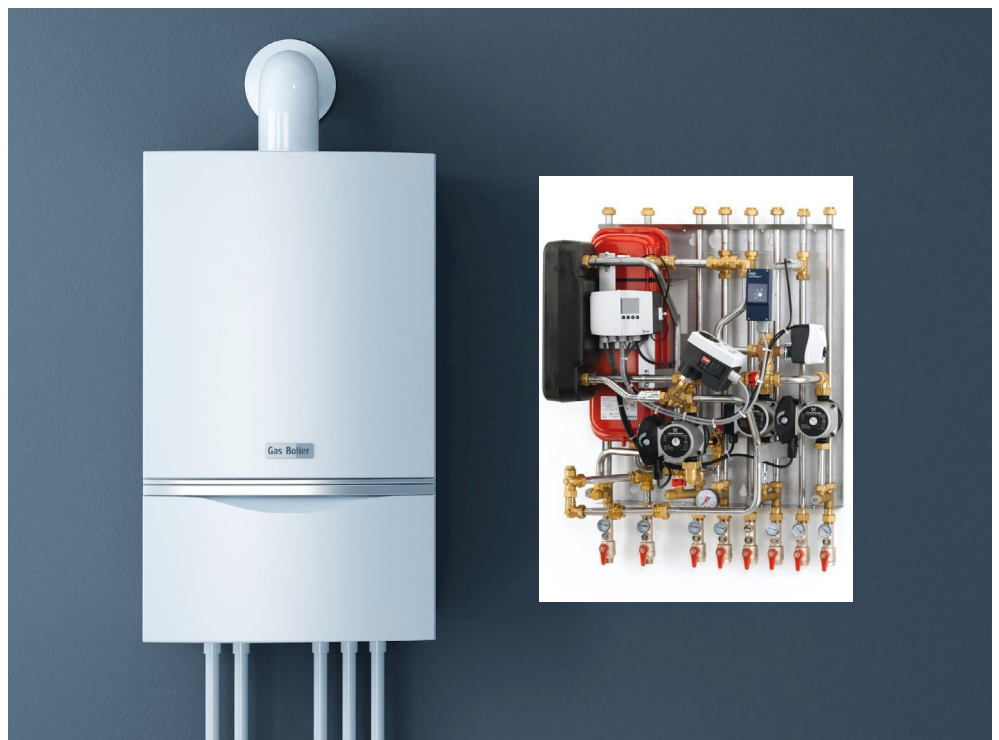
Vanaf de centrale transportleidingen vertrekken aftakkingen met **distributieleidingen** naar de verschillende gebruikers van de warmte. De warme vloeistof in het warmtenet wordt rondgepompt in een gesloten circuit. Deze warmte wordt via een warmtewisselaar doorgegeven aan het interne verwarmingscircuit van een gebruiker.

Deze warmtewisselaar en een circulatiepomp worden gecombineerd in een **afleverset** per gebruiker (zie Figuur 5). Deze afleverset is niet groter dan een klassieke gaswandketel, zoals je ziet op Figuur 6. Via de afleverset wordt de warmte voor ruimteverwarming en de bereiding van sanitair warm tapwater (en in sommige gevallen koeling als het gaat om een koudnet) afgegeven aan een wooneenheid.

FIGUUR 5: Voorbeeld van een afleverzet voor een woning - © hier.nu²⁸



FIGUUR 6: Afmeting van een afleverzet warmtenet vergeleken met een gaswandketel - © ODE Vlaanderen



1.1.1.4 BELANG VAN AANGELEVERDE TEMPERATUUR

Afhankelijk van het aangeleverde temperatuurregime kan een aanvullende installatie in de woning noodzakelijk zijn. Immers, als de temperatuur van de warmte die aangeleverd wordt te laag is om de woning of het sanitair warm tapwater goed te verwarmen, dan moet een aanvullende installatie de temperatuur verhogen. Dit kan een warmtepomp, een gasketel of een (elektrische) booster zijn.

Vanaf de afleverset kan de collectieve installatie gekoppeld worden aan interne afgiftesystemen of sanitair warm tapwatervoorzieningen. De afleversets meten de hoeveelheid afgenomen warmte, zodat een correcte facturatie per eindgebruiker kan gebeuren.

1.1.2 TECHNISCHE BEOORDELINGSCRITERIA WARMTENETTEN

1.1.2.1 RENDEMENT

Het rendement van het systeem en het beschikbare temperatuurregime is afhankelijk van de broneigenschappen. Voor bestaande warmtenetten of collectieve systemen geeft de beheerder op welke vermogens of temperatuurniveaus beschikbaar zijn. Afhankelijk van het beschikbare vermogen kan het noodzakelijk zijn om binnen het gebouw extra bijstook te voorzien. Deze bijstookvoorziening kan geïntegreerd zijn in de afleverset of geleverd worden via een bijkomende installatie, zoals een boosterwarmtepomp.

1.1.2.2 ONDERHOUD EN LEVENSDUUR.

De beheerder van de collectieve installatie verzorgt het onderhoud van de collectieve installatie en de distributieleidingen. De beheerder kan ook een derde partij zijn, bijvoorbeeld een installateur. De afleverset binnen de woning behoeft weinig onderhoud. Als er bijstook plaatsvindt via bijvoorbeeld een warmtepomp, gasketel of elektrische booster moet onderhoud uitgevoerd worden conform de vereisten van het toestel. De levensduur bij collectieve installaties verschilt per component.


Afleverset (inclusief booster);	15 jaar.
Collectieve KWO-bron (verticale boringen);	50 jaar.
Collectieve warmtecollectorvelden (horizontale captatienetten);	25 jaar.
Restwarmte;	onbekend*

* Bij restwarmte uit een industrieel proces moet er rekening mee gehouden worden dat de warmteproductie plaats vindt bij een externe partij, en eventueel kan wegvallen.

1.1.2.3 BACK UP SYSTEEM

In het geval van stadsverwarming op basis van een industrieel proces of afvalverbrander moet in acht genomen worden dat de opwekker kan wegvallen. Industriële processen kunnen beperkt worden of volledig wegvallen door preventief onderhoud, faillissement of om andere redenen. Omdat de overheid op langere termijn tot een circulair afvalproces wil evolueren is het ook aannemelijk dat afvalverbrandingsinstallaties geleidelijk verdwijnen. In deze situaties valt de warmtebron van de collectieve installatie weg en zal een alternatieve bron of back-up bron noodzakelijk zijn. Praktisch gezien zijn dit project-overstijgende situaties. In deze situatie moeten lokale partijen bijeenkomen om een oplossing te zoeken.

1.1.3 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL	
ASPECT	AANDACHTSPUNT
Aansluiting op warmtenet	Voor het aansluiten op een warmtenet moet typisch een ondergrondse doorvoer door de gebouwschil gerealiseerd worden (één of twee gaten in de keldermuur met een diameter van enkele centimeters waardoor de leidingen tussen binnen- en buiten lopen). Eenmaal de aansluiting op een warmtenet afgewerkt is, is er geen visuele impact op de gevels. Indien bijverwarming nodig is, raadpleeg dan de overeenkomstige componentfiches.



IMPACT OP HET INTERIEUR

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie binnenunit	Er dient een ruimte gereserveerd te worden voor de afleverset (ter grootte van een gaswandketel).	Het ruimtebeslag van een afleverset is gelijkaardig als van een gasketel. Bij vervanging kan dit gebeuren zonder bijkomende ruimte op te nemen.
Bijverwarming	Afhankelijk van het vermogen en de temperaturen die het bestaande systeem kan leveren, is het niet uit te sluiten dat eventuele bijstook van een warmtepomp nodig zal zijn. We kunnen in dat geval spreken van een boosterwarmtepomp . Hiervoor dient de nodige ruimte voorzien te worden (zie componentfiches van de andere systemen voor meer informatie).	De componentfiches van de warmtepomp die als bijverwarming zou worden geplaatst bieden praktische informatie.
Leidingen en kanalen	Afleversets worden gevoed door distributieleidingen waarin warmte of koude wordt getransporteerd. Bij meergezinswoningen is het niet uit te sluiten dat er centrale stijgleidingen en schachten noodzakelijk zijn om warmte verticaal te transporteren. Een schacht is een verticale ruimte die meerdere verdiepingen met elkaar verbindt. Er wordt best minimaal een ruimte van 200x400mm ² voorzien. Bij grote gebouwen is mogelijk meer ruimte nodig. Wanneer distributieleidingen horizontaal verdeeld worden binnen het beschermde volume dan moet er ook voldoende hoogte beschikbaar zijn voor de plaatsing. Afhankelijk van het vermogen dient minimaal 50 cm aan hoogte beschikbaar te zijn voor een horizontaal leidingtraject.	Leidingen kunnen geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk. Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden om de leidingen in te leggen. Als dit niet het geval is, hou er dan rekening mee dat de schachten ingebracht worden zonder schade aan waardevolle plafonds, vloeren of andere interieurelementen.
Distributiesysteem	Een afleverset kan enkel via een watervoerend distributiesysteem verwarmen.	Bestaande radiatoren of vloerverwarming kunnen opnieuw gebruikt worden.
Geluidhinder binnenunit	De binnenunit is een geluidsbron vergelijkbaar met een koelkast	



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie leidingen	De afleversets in het gebouw worden gevoed door distributieleidingen waarin warmte of koude wordt getransporteerd.	De distributieleidingen mogen ondergronds maar moeten bereikbaar blijven voor eventueel onderhoud.
Nieuwe collectieve installatie	Bij een nieuwe collectieve installatie moet een centrale technische ruimte aangeduid worden. Afhankelijk van de installatie kan zowel een binnenopstelling als een buiten (dak) opstelling noodzakelijk zijn. De opstelruimtes moeten goed bereikbaar blijven voor onderhoud.	

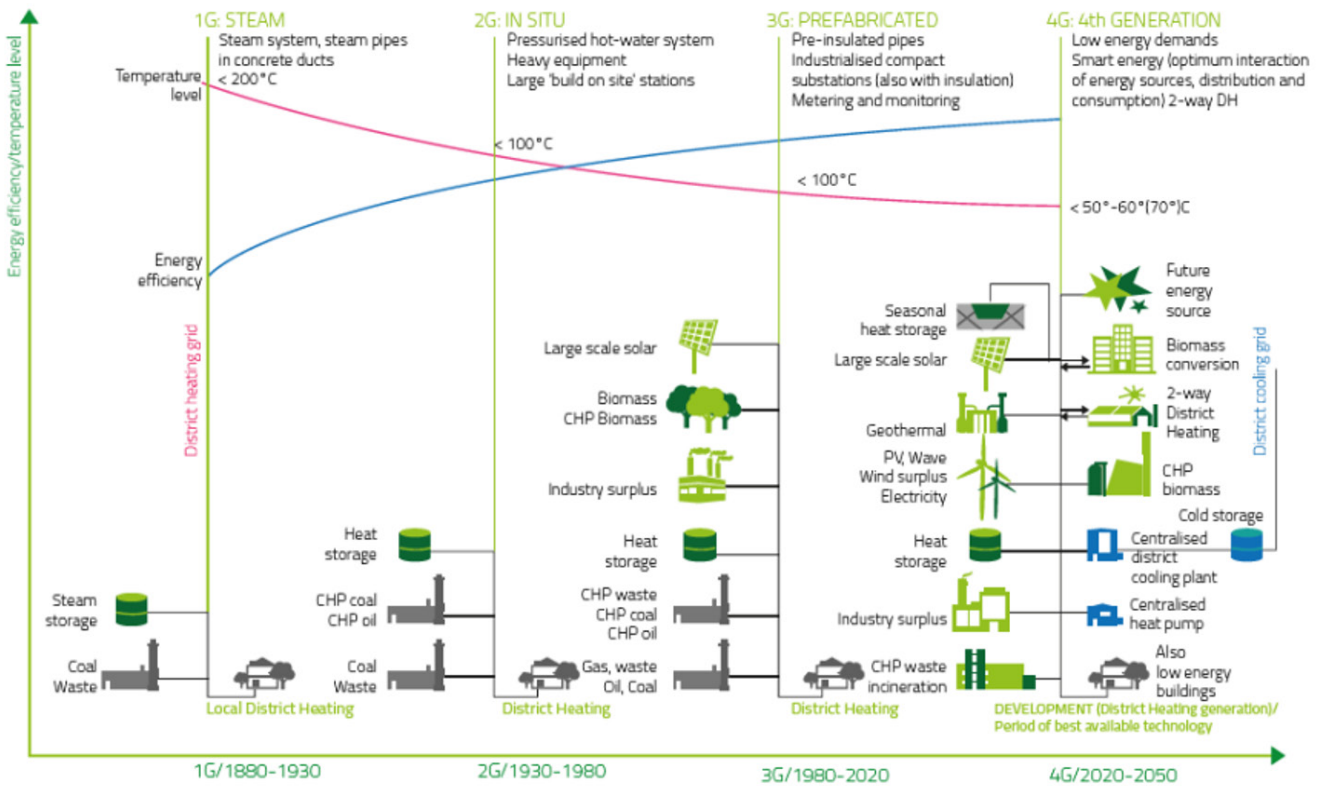


ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement voor verwarmen en koelen is niet weersafhankelijk . Het rendement van aansluiten op een warmtenet is hoger wanneer het gevraagde temperatuurregime overeenstemt met wat het warmtenet levert.
Realisatie	Collectieve installaties zijn relatief complexe installaties qua realisatie. Bij bijvoorbeeld een collectief KWO-systeem moeten bijvoorbeeld aanzienlijke graaf- en boorwerkzaamheden uitgevoerd worden. Collectieve installaties kunnen een hoog elektrisch vermogen vragen. Regelmatig zijn bestaande netwerkvoorzieningen niet toereikend om een collectieve installatie te voeden. Het tijdig samenzitten met stakeholders (waaronder de netbeheerder) en het opstellen van een realisatieplan voor de werkzaamheden is aan te raden.
Beheer en onderhoud	Bij aansluiting op een bestaand warmtenet wordt het beheer en onderhoud voorzien door de beheerder van de stadsverwarmingsinstallatie. Bij de aanleg van een nieuwe collectieve installatie wordt er een lokaal energienetwerk aangelegd. Bij de aanleg dient nagedacht te worden over wie verantwoordelijk is voor het beheer, wie de energiekosten gaat betalen (energiecontract) en wie de eigenaar wordt van de installatie (beheerder, VME). Grotere partijen of ESCO's kunnen hierin een rol spelen, evenals gemeentes. Daarnaast wordt aanbevolen om op voorhand een studie te laten uitvoeren naar de haalbaarheid van de beoogde installatie. Er zijn verschillende businessmodellen beschikbaar voor collectieve installaties.
Sanitair warm tapwater	Bestaande systemen zijn ontworpen op een bepaald temperatuurregime en vermogen. Het is mogelijk dat de beschikbare temperatuurregimes onvoldoende aansluiten bij de warmtevraag of sanitair warm tapwatervraag van de woning. Een tweede systeem is in dat geval nodig.
Uitbreiding meterkast	Een afleverset moet van een eigen aansluiting in de meterkast voorzien worden. De eigenaar dient rekent te houden met een uitbreiding en/of modernisering van de meterkast

1.1.4 EVOLUTIE VAN WARMTENETTEN

Figuur 7 geeft schematisch de evolutie van de temperatuurregimes van warmtenetten weer. Een belangrijke trend is dat met elke nieuwe generatie warmtenetten het temperatuurniveau daalt. Dit houdt in dat het telkens belangrijker wordt om de warmtevraag in eerste instantie te beperken. Vele warmtenetten die vandaag worden ontwikkeld zijn nog van de derde generatie²⁹.



FIGUUR 7: Evolutie van temperatuurregime warmtenetten³⁰

FIGUUR 8: Voorbeeld van een warmtenetaansluiting of afleverzet (voor 500m² gebruiksoppervlakte)³¹



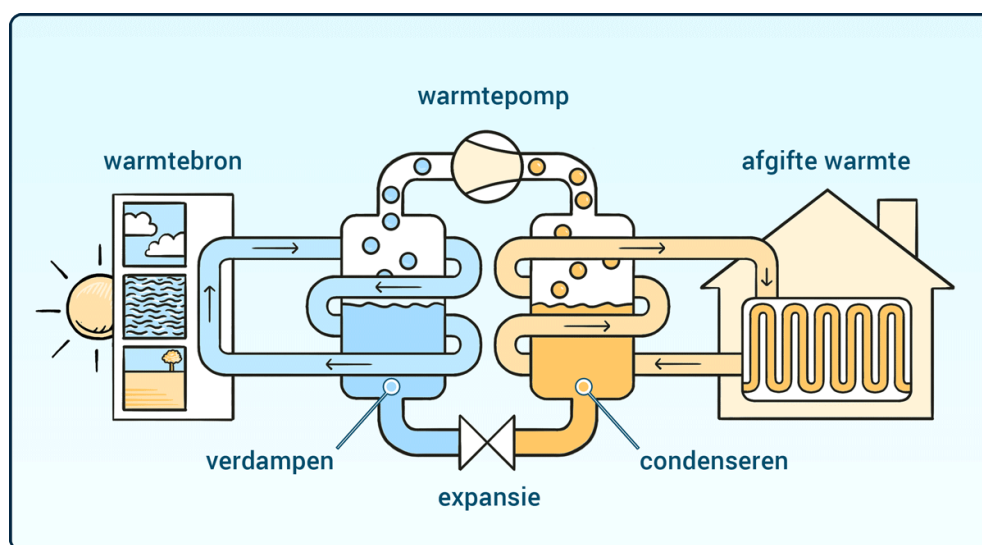
1.2 WARMTEPOMPEN - ALGEMEEN

1.2.1 BASISPRINCIPES

Een warmtepomp haalt 60 tot 80% van de geleverde energie uit een duurzame bron in zijn omgeving, zoals de buitenlucht, afvoerlucht, bodem, grondwater, of afvoerwater. Voor de overige 40 tot 20% van de energie gebruikt de warmtepomp elektriciteit. Een warmtepompinstallatie verbruikt minder energie dan een klassiek verwarmingssysteem (zie Rendement). Een warmtepomp kan voor verschillende comfortdoelen gebruikt worden, zoals ruimteverwarming, de bereiding van sanitair warm tapwater en koeling.

1.2.1.1 WERKINGSPRINCIPE

Het basisprincipe van elk type warmtepomp wordt hieronder weergegeven in Figuur 9.



FIGUUR 9: De warmtepompcyclus.³²

Warmte verplaatst zich van nature van warmere naar koudere plaatsen. Een warmtepomp kan dit proces omkeren door warmte te absorberen uit een koudere omgeving en deze op hogere temperatuur elders af te geven. Voor deze omkering gebruikt een warmtepomp een deel externe energie, zoals elektriciteit.

Een warmtepomp bestaat altijd uit een vloeistof en vier hoofdcomponenten:

- een verdamper
- een compressor
- een condensor
- een expansieventiel.

De vloeistof, vaak een koelmiddel, verdampt al bij lage temperaturen.

Het is een cyclisch proces dat als volgt verloopt:

1. De duurzame **omgevingswarmte** is typisch beschikbaar in de buitenlucht, bodem of grondwater, zoals links aangegeven op Figuur 9.
2. De lage temperaturen van de omgevingswarmte zijn voldoende om de koelvloeistof te laten **verdampen**.
3. Deze verdampfte vloeistof wordt vervolgens **samengedrukt door de compressor**, waardoor de temperatuur stijgt.
4. De warmte die vrijkomt bij dit proces wordt afgegeven aan een ander medium. Dat is vaak de binnenlucht, een watercircuit voor verwarming of een buffervat/voorraadvat voor sanitair warm tapwater. Hierdoor **condenseert** de verdampfte vloeistof terug naar zijn vloeibare toestand.

5. Het expansieventiel laat druk ontspannen en zorgt er op die manier voor dat de temperatuur van de vloeistof opnieuw daalt.
6. Daarna kan de vloeistof opnieuw warmte uit de bronomgeving opnemen en begint de cyclus opnieuw.

Deze cyclus kan ook omgekeerd worden, waardoor er warmte onttrokken wordt uit de woning, en afgegeven wordt aan de buitenomgeving. Op die manier kan een warmtepompsysteem een gebouw dus ook koelen.

1.2.1.2 PRODUCTIE VAN SANITAIR WARM TAPWATER MET EEN WARMTEPOMP

In veel gevallen kan een warmtepomp zowel ruimteverwarming als sanitair warm tapwater leveren. Wanneer een warmtepomp alleen sanitair warm tapwater levert is er sprake van een **warmtepompboiler**. Voor het bereiden van sanitair warm tapwater zijn zowel de werking (verdampers → compressor → condensator → expansieventiel) als de mogelijke omgevingsbronnen (buitenlucht, bodem of water) dezelfde als voor ruimteverwarming.

Er zijn verschillende opstellingen mogelijk voor warmtepompen. Welke systeemvariant toegepast moet worden is afhankelijk van de sanitair warmwatervraag en het comfortdoel. Beide zijn afhankelijk van het aantal bewoners, het type sanitaire toestellen (bad of een douche) en het aantal sanitaire tappunten (aantal warmwaterkranen).

Bij een lage sanitaire warmwatervraag of een lager comfortdoel kan een warmtepomp met geïntegreerd voorraadvat volstaan. Bij een hogere sanitaire warmwatervraag of een hoger comfortdoel moet rekening gehouden te worden met een los sanitair voorraadvat of een elektrische booster.

De afwegingschema's begeleiden een ontwerper in het maken van een keuze tussen de verschillende varianten.

Afhankelijk van het type warmtepomp (lucht/lucht, lucht/water, etc.) zijn er meerdere beoordelingscriteria die projectafhankelijk beoordeeld moeten worden. Er wordt eerst ingegaan op de algemene technische beoordelingscriteria die van toepassing zijn voor alle warmtepompen zoals bijvoorbeeld het rendement, het onderhoud en de levensduur; Daarna worden per type warmtepomp het werkingsprincipe geduid, de specifieke aandachtspunten in erfgoedwoningen benoemd. Gevolgd door een kort overzicht van de voor- en nadelen inclusief realisatievoorwaarden. Tot slot volgt een samenvattingstabel die de verschillende types warmtepompen met elkaar vergelijkt.

1.2.2 TECHNISCHE BEOORDELINGSCRITEIA WARMTEPOMP

1.2.2.1 RENDEMENT WARMTE, KOELING EN LABELS

Binnen Europa wordt getracht producten op een eenvormige manier te labelen³³. Op die manier kan een consument de verschillende producten en opstellingen objectiever vergelijken³⁴. In het geval van warmtepompen zijn er labels voor zowel de warmtepomp op zich (Productlabel), als het volledige geïntegreerde systeem (Pakketlabel (systeemlabel)).

Rendement

Warmtepompen maken gebruik van verschillende omgevingsbronnen voor het opwekken van warmte. Het rendement van de warmtepomp is afhankelijk van enerzijds de brontemperatuur en anderzijds van het temperatuurniveau voor de warmteafgifte. Hoe dichter deze twee bij elkaar liggen, hoe minder elektrische energie nodig is om de benodigde warmte te onttrekken aan de omgeving.

Om de prestatie van warmtepompen uit te drukken, wordt het rendement uitgedrukt met de COP of de EER. Deze waarden hangen af van zowel de specifieke bron- als afgiftetemperatuur. Elke combinatie geeft een andere waarde, die doorgaans in tabelvorm worden gepresenteerd.

- **COP** - Coefficient of Performance – Drukt de prestatie uit bij verwarmen.
- **EER** - Energie-Efficiëntie Ratio – Drukt de prestatie uit bij koelen.



Warmtepompen leveren meestal te lage temperaturen om te voldoen aan de eisen ter preventie van legionellabesmettingen: om legionella te voorkomen, moet het warm water een tijdje opgewarmd worden tot 60 à 70 °C. Om te voldoen aan deze temperatuureisen zijn warmtepompen voorzien van een elektrische weerstand die het sanitair water tijdelijk op een hogere temperatuur brengt. Deze elektrische weerstand is vaak geïntegreerd in het voorraadvat.

De combinatie brontemperatuur-afgifte-temperatuur is bepalend voor de waarde van de COP en EER. Dat vertaalt zich in soms grote verschillen in rendement tussen dag en nacht of per seizoen.

Om het vergelijken van de prestaties van warmtepompen te vergemakkelijken, werken warmtepompfabrikanten daarom vaak met een **gewogen gemiddelde** van de verschillende brontemperaturen. Dat geeft een gemiddeld rendement voor een jaar. Dat drukken we uit in de SCOP-waarde voor verwarmen en SEER voor koelen.

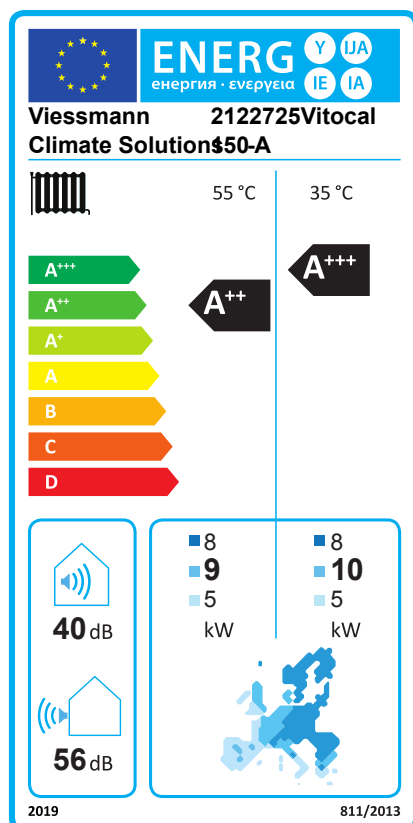
- **SCOP** - de Seasonal Coefficient of Performance – Drukt de stookseizoengemiddelde prestatie uit bij verwarmen
- **SEER** - Seizoengebonden Energie-Efficiëntie Ratio – Drukt de koelseizoengemiddelde prestatie uit bij koelen

Het rendement van warmtepompen ligt consequent hoger dan dat van verbrandingstoestellen (zie samenvatting). In het algemeen haalt een verbrandingstoestel uit elke kWh gas ongeveer 1 kWh aan warmte. Bij warmtepompen is dat vandaag, afhankelijk van het type, twee tot zeven keer zo veel.

Productlabel

Een productlabel zoals weergegeven in Figuur 10 geeft de energieprestatie weer voor verwarmen, voor de bereiding van sanitair warm tapwater of voor koelen. Het productlabel is een overkoepelende weergave van de energieprestatie van een warmtepomp en wordt berekend op basis van het rendement (SCOP en SEER), het elektriciteitsgebruik van de individuele componenten en het (maximale) vermogen. Ook houdt het productlabel rekening met de seizoensgebonden energie-efficiëntie (I) van de warmtepomp (hoe lager de buitentemperatuur, des te meer elektriciteit een warmtepomp verbruikt om te verwarmen; hoe hoger de buitentemperatuur, des te meer elektriciteit een warmtepomp verbruikt om te koelen). Voor warmtepompen staat ook de geluidproductie vermeld op het productlabel. Hoe hoger het productlabel scoort, hoe duurzamer en energie efficiënter het product is.

Op onderstaand label wordt een toestel bekeken voor ruimteverwarming (dat kan je zien aan de radiator linksboven in het blauwe kader). Naast de efficiëntie (label A++, voor een afgiftetemperatuur van 55°C en A+++ voor een temperatuur van 35°C) wordt ook het geluidvermogen (uitgedrukt in dB, of decibel, binnen en buiten) en het verwarmingsvermogen (uitgedrukt in kW, of kilowatt) benoemd. Deze efficiëntie wordt bovendien gecorrigeerd met een primaire energiefactor³⁵ voor elektriciteit.



FIGUUR 10: Voorbeeld van een productlabel

Pakketlabel (systeemlabel)

Het pakketlabel in Figuur 11 geeft de energieprestatie weer van een combinatie van systemen, bijvoorbeeld een warmtepomp in combinatie met een collector of los sanitair voorraadvat. Het pakketlabel houdt hiermee ook rekening met de product labels van de individuele componenten. Hoe hoger het pakketlabel scoort, hoe gunstiger de energieprestatie van het de volledige installatie is.

Het voorbeeld op deze figuur geeft de pakquetscore van een verwarmingssysteem. Hier is het basistoestel een gasketel met productlabel A, die aanvullend voorzien is van een zonnecollector, een los voorraadvat (warmwatertank) en een temperatuurregelaar. Het volledige systeem heeft een pakketlabel A+.

FIGUUR 11 Voorbeeld van een pakketlabel ³⁶

Type aanduiding(en)

handelaaren/of leverancier

Naam of handelsmerk van
handelaar en/of leverancier

Ruimteverwarmings-
functie

Basistoestel

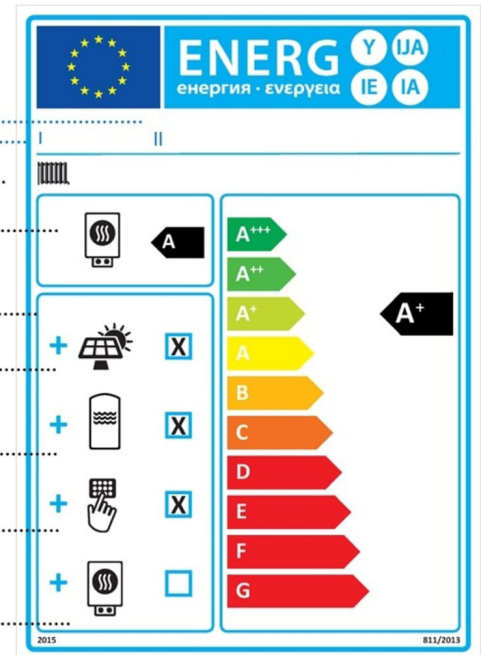
Toegevoegde
apparaten

Zonnecollector

Warmwatertank

Temperatuurregelaar

Aanvullend verwarmings-
toestel



Erkende plaatsers

Om in aanmerking te komen voor 'Mijn VerbouwPremie' voor een warmtepomp, moet de installatie geplaatst of gevalideerd zijn door een installateur met een 'certificaat van bekwaamheid'. Dit RESCert-certificaat³⁷ wordt als kwaliteitslabel toegekend aan installateurs met ervaring die bovendien slagen voor een erkend examen. De lijsten met erkende installateurs zijn online te vinden op de website van RESCert³⁸.

1.2.2.2 ONDERHOUD EN LEVENSDUUR

Warmtepompen met een waterdragend systeem vragen een tweejaarlijkse onderhoudsbeurt. Bij eventuele terreinleidingen moet het antivriesmiddel (brine) in het systeem gecontroleerd of aangevuld worden (glycol). Sommige warmtepompen zijn voorzien van een drubbewaker op de primaire kant, om deze controle te vergemakkelijken.

Wanneer er sprake is van een hybride systeem (warmtepomp in combinatie met een verbrandingsketel) moet de verbrandingsketel onderhouden worden in overeenstemming met de richtlijnen van een gasketel of een biomassa installatie.

De verwachte levensduur is opgenomen in de samenvattingstabel. Bij de meeste systemen is dit 15 jaar of langer. Systemen met minder bewegende onderdelen, gaan doorgaans langer mee.

1.2.2.3 OVERIGE TECHNISCHE AANDACHTSPUNTEN

Geluidproductie

VLAREM³⁹-eisen zijn in de praktijk ook in huishoudelijke toepassingen van kracht (beperking omgevingslawaai). In woongebieden geldt een beperking aan het geluiddrukkniveau tot 45 dB(A) overdag, 40 dB(A) 's avonds en 35 dB(A) 's nachts⁴⁰.


De systemen met een buitenunit worden daarom best oordeelkundig geplaatst, zodat hinder voor gebruiksruimtes wordt beperkt. Denk daarbij aan afstand tot ramen die courant open staan (leefruimtes, slaapkamers) en eventueel afstand van terrassen.

Vele warmtepompsystemen kunnen bovendien 's nachts op een lagere (en dus stillere) stand worden gezet.

Koelmiddel en milieuwetgeving

Een warmtepomp maakt gebruik van koelmiddel om de thermische cyclus in werking te zetten. Deze koelmiddelen hebben een milieutechnische impact op de ozonlaag, de 'global warming potential' (GWP) genoemd. De GWP is een aanduiding voor de mate waarin een broeikasgas bijdraagt tot de klimaatopwarming. Het is een relatieve maat, waarin de stof en de invloed ervan als een broeikasgas vergeleken wordt met dat van koolstofdioxide (CO₂). Algemeen geldt dat een GWP met een hogere waarde een nadeliger invloed heeft op het milieu.

TABEL 1 / overzicht koelmiddelen

 OVERZICHT KOELMIDDELEN				
OORSPRONG	TYPE		VOORBEELDEN	STATUS
Synthetisch	CFK	Chloorfluorkoolstofverbindingen	R11, R12, R13, R114, R500, R502	Uit gebruik genomen
	HCHFK	Chloorfluorkoolwaterstofverbindingen	R22, R123 en R124	Uit gebruik genomen
	F-gassen ⁴¹	Gefluoreerde broeikasgassen	(HFK) R134A, R143a, R23, R32 en R125 (algemeen) R410a, R134 of en R404a	Vandaag in gebruik
	HFO		HFO-1234ze, HFO-1234yf, HFO-1233zd	Alternatief voor HFK's
Natuurlijk	R744	CO ₂		Groeien aan belang
	R717	Ammoniak		
	R290	Propaan		
	R600a	Isobutaan		
	R718	water		

Sommige synthetische koelmiddelen zijn vanwege hun invloed op de ozonlaag al uit gebruik genomen. Dit geldt voor bijvoorbeeld de CFK-koelmiddelen (chloorfluorkoolstofverbindingen) en de HCHFK-koelmiddelen (chloorfluorkoolwaterstofverbindingen).

Op dit moment zijn voornamelijk synthetische gefluoreerde broeikasgassen (F-gassen) in gebruik. Voor warmtepompen specifiek, zijn de HFK-koelmiddelen (fluorkoolwaterstofverbindingen) het meest voorkomend. De verwachting is dat ook deze in de toekomst vervangen zullen worden door natuurlijke koelmiddelen naarmate de regelgeving inzake het gebruik van F-gassen verder verstrengt⁴². In de laatste revisie van de regelgeving zijn verbodsdata voorzien voor de verschillende F-gassen.

Voor de toekomstige markt worden namelijk natuurlijke en synthetische koelmiddelen ontwikkeld om de impact van de GWP te verlagen. In Tabel 1 worden enkele mogelijke (toekomstige) natuurlijke koelmiddelen aangegeven.

Omwille van de schadelijke effecten die koelmiddelen op het milieu hebben, is het belangrijk dat de installatie periodiek wordt gecontroleerd op goed functioneren. Lekkende installaties zijn absoluut te vermijden. Hoewel HFO's

worden aangehaald als alternatief voor de schadelijkere HFK's (wat GWP betreft), vallen zij onder de PFAS. Om gezondheidsrisico's te voorkomen, is het belangrijk dat lekkages tijdig worden opgemerkt en gecorrigeerd.

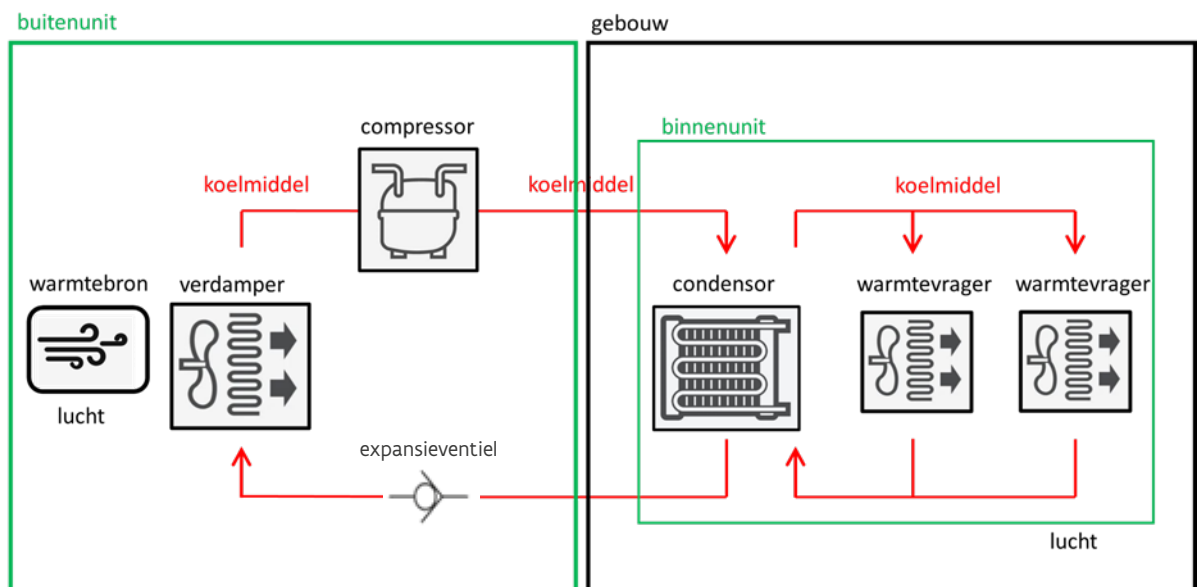
De uitfasering van bepaalde koelmiddelen binnen warmtepompen heeft geen gevolgen voor particuliere eigenaren. Het omschakelen naar een ander koudemiddel gebeurt zelden binnen de levensduur van de installatie zelf. Bijvullen of vervangen is in meeste gevallen alleen noodzakelijk als er lekkages zijn. Periodiek onderhoud is om deze reden ook belangrijk.

Op het einde van de levensduur (zie Warmtepompen - Samenvatting) worden warmtepompen volledig vervangen. Ook de koelmiddelleidingen moeten in dat geval vaak vervangen worden. Vanwege de chemische samenstelling van sommige koelmiddelen is hergebruik met een nieuw koelmiddel niet mogelijk. Het is daarom belangrijk dat de leidingen, het binnen deel en het buiten deel bereikbaar blijven.

Ook bij grotere bodemwarmtepompen moeten aan het einde van de levensduur de koelleidingen vervangen worden. Hierbij dient in acht genomen te worden dat koelmiddel alleen binnen het gesloten circuit van de warmtepomp zelf aanwezig is. De bodemlussen of de boorputten zijn geen onderdeel van dit gesloten circuit. Binnen de bodemlussen of boorputten wordt geen koelmiddel maar water of een waterglycol (antivries, brine) gebruikt. Via een warmtewisselaar wordt de warmte afgegeven aan het gesloten koelmiddelcircuit van de warmtepomp. Bij het vervangen van een bodemwarmtepomp hoeven de bodemlussen of boorputten niet vervangen te worden tenzij er sprake is van roestvorming, beschadiging of andere ernstige vervuilingen binnen de lussen of boorputten zelf.

1.3 LUCHT/LUCHT WARMTEPOMP

1.3.1 WERKINGSPRINCIPE



FIGUUR 12: Schematische weergave van een split uitvoering lucht/lucht warmtepomp – ©Daidalos Peutz bouwfysisch ingenieursbureau

Een lucht/lucht warmtepomp haalt warmte en koude uit de buitenlucht. Dit systeem kan worden gebruikt om ruimtes te verwarmen en te koelen. Het kan niet worden gebruikt om sanitair warm tapwater op te wekken.

Er zijn twee subtypes beschikbaar:

- een monoblock uitvoering (met of zonder buitenunit)
- een split uitvoering.

Er is in beide gevallen geen watercircuit als tussenmedium. De condensor geeft de warmte of koude via een koelmiddelcircuit rechtstreeks af aan de binnenlucht waarmee de woning verwarmd wordt.

De **split uitvoering** is het meest courante type van de twee subtypes. Hier staat de verdamper buiten (buitenunit) en de condensor binnen (binnenunit). Tussen beide units loopt een koelmiddelcircuit. De hoeveelheid koelmiddel is dan ook groter in deze types. Vanaf de condensor in de binnenunit kan de warmte afgegeven worden aan de binnenlucht.



In de volksmond wordt een lucht/lucht warmtepomp wel eens een airco genoemd.



FIGUUR 13: buitenunit van lucht/lucht warmtepomp in split opstelling opgesteld op onopvallende plek - © calordelta



FIGUUR 15: voorbeeld van verbergen buitenunit met natuurlijke vegetatie in tuin beschermd pand, Gent - © Onroerend erfgoed



FIGUUR 14: voorbeeld van omkasting buitenunit in zijtuinstrook, verwerkt in vuilbakberging - © vito

Bij een **monoblock uitvoering** bevat de unit alle hoofdcomponenten: compressor, verdamper, condensor en expansieventiel. Via een luchtkanaalcircuit wordt de verwarmde (of gekoelde) lucht vanaf de condensor in het monoblock de ruimte binnengebracht. Een bekend voorbeeld hiervan zijn de mobiele airconditioningstoestellen, al dan niet aangesloten op een luchtkanaal (zie Figuur 16). Dat maakt het tijdelijk toepassen van dit systeem in woningen met erfgoedwaarde interessant, bijvoorbeeld om seizoensgebonden bijkomend te verwarmen of koelen.

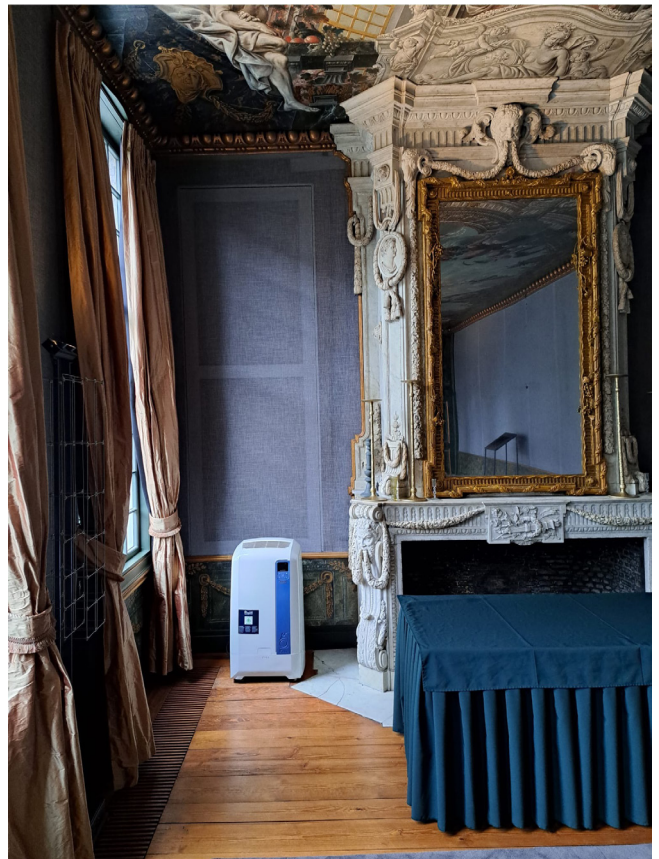
Afhankelijk van het volume van de te verwarmen (of te koelen) lucht, zullen één of meer binneneenheden per ruimte voorzien moeten worden.

Een **gekanaliseerde ('ducted') installatie** van de unit met condensor biedt mogelijkheden wanneer een opstelling in de buitenlucht moeilijk verenigbaar is met de erfgoedwaarde van de gebouwschil. In dat geval wordt de unit geplaatst in een goed verluchtte binnenruimte (kelder, zolder...) en wordt de buitenlucht via luchtkanalen aangezogen en/of afgeblazen.

Gezien de nodige debieten, moet rekening gehouden worden met grote aanvoer- en afvoerroosters in de gebouwschil (typisch $75 \times 75 \text{ cm}^2$). De diameter van de luchtkanalen zelf heeft ook die grootteorde.



Doordat de lucht/lucht warmtepomp warmte uit de lucht haalt, kan er bij koude temperaturen ijsvorming optreden op de verdamper in de buitenunit. Wanneer dat gebeurt, gaat de warmtepomp automatisch over op de ontdooicyclus: de warmte die voordien werd aangemaakt om de woning op te warmen, wordt nu gebruikt om de verdamper te ontdooien. Dit proces heeft een invloed op de energie-efficiëntie van de warmtepomp en zit mee vervat in de (S)COP.



FIGUUR 16: mobiele lucht/lucht warmtepomp in de hofkamer van huis de Wolsack, Antwerpen - ©Dimitri Stevens



FIGUUR 17: voorbeeld van een in de kleur van het interieur geverfde binneneunit lucht/lucht warmtepomp (Belgravia, Londen, UK) - ©Historic England/Max Fordham LLP



FIGUUR 18: Voorbeeld van een binneneunit met een plafond uitvoering - ©LG⁴³

1.3.2 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie buitenunit	<p>Een lucht/lucht warmtepomp vereist een opstelruimte voor een buitenunit. Dat kan tegen de gevel of op het dak. Hiervoor moet een doorvoer door de gebouwschil gerealiseerd worden. In het geval van de meest courante opstelling (split) zijn dat één of twee gaten in de muur met een diameter van enkele centimeter waardoor de leidingen tussen binnen- en buitenunit lopen. Bij een monobloc opstelling moeten luchtkanalen worden voorzien doorheen de buitenschil.</p>	<p>Een buitenunit kan geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk. Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden. BELANGRIJK: Een omkasting heeft een weerstand op de luchtstroom. Dit heeft een impact op de debieten die de warmtepomp bij een bepaald vermogen opwekt. Daarom kan dit een negatieve invloed hebben op het rendement. Een omkasting verhoogt met andere woorden enigszins het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp.</p> <p>De doorvoer dient gerealiseerd te worden op onopvallende plaatsen of via keldergaten. BELANGRIJK: respecteer de veiligheidszone rond warmtepompen met propaan als koelmiddel. Een expert kan helpen bij het ontwerpen van een omkasting om de correcte positie en/of het gewenste effect van de omkasting te bekomen.</p>
Afmetingen buitenunit	<p>De afmetingen van een buitenunit zijn gemiddeld 90x75x40cm³ (BxHxD), de omvang van een grote reiskoffer.</p>	
Leidingen en kanalen	<p>Er loopt een circuit met koelmiddel tussen de buiten- en binnenunit. De leidingen hebben meestal een diameter van maximaal 4 cm. De afstand tussen binnen- en buitenunit kan maximaal 25 meter bedragen. Om de afstand te bepalen moet men zowel de horizontale als verticale stukken van het leidingwerk optellen. (Bijvoorbeeld 5 meter in de hoogte en 20 meter in de diepte)</p>	<p>Voor het leggen van leidingen en kabels dient rekening gehouden te worden met de Richtlijn Agentschap Onroerend Erfgoed: Kabels op gevels met erfgoedwaarde: toelatingen en meldingen (26.07.2020)⁴⁴</p>



IMPACT OP HET INTERIEUR

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie binnenunit	<p>Een lucht/lucht warmtepomp is voor de warmteafgifte altijd voorzien van een wand- of plafondunit in binnenruimtes.</p> <p>Om hun goede werking te garanderen, mogen binnenunits niet belemmerd worden: de lucht die zij uitblazen moet zich ongehinderd zo ver mogelijk in de ruimte kunnen verspreiden.</p>	<p>BELANGRIJK: Een omkasting heeft een weerstand op de luchtstroom. Dit heeft een impact op de debieten die de warmtepomp bij een bepaald vermogen opwekt. Daarom kan dit een negatieve invloed hebben op het rendement. Een omkasting verhoogt met andere woorden enigszins het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp.</p> <p>Afstemmen van materiaal of kleur van de binnenunit aan het interieur is mogelijk/wenselijk</p>
Afmetingen binnenunit	<p>De afmetingen van een binnenunit zijn gemiddeld:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 90x30x25cm³ bij een wandunit dicht tegen plafond - 100x65x25cm³ bij een wandunit dicht tegen de vloer - 70x70cm² bij een plafondunit (meestal ingebouwd in een verlaagd plafond) 	
Leidingen en kanalen	<p>Er loopt een circuit met koelmiddel tussen de buiten- en binnenunit. De leidingen hebben meestal een diameter van maximaal 4 cm.</p> <p>De afstand tussen binnen- en buitenunit kan maximaal 25 meter bedragen. Om de afstand te bepalen moet men zowel de horizontale als verticale stukken van het leidingwerk optellen. (Bijvoorbeeld 5 meter in de hoogte en 20 meter in de hoogte)</p> <p>Daarnaast is het nodig een afvoer te voorzien voor condenswater.</p>	<p>Leidingen kunnen geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk. Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden om de leidingen in te leggen.</p> <p>Als dit niet het geval is, hou er dan rekening mee dat de schachten ingebracht worden zonder schade aan waardevolle plafonds, vloeren of andere interieurelementen.</p>
Distributiesysteem en warmteafgifte	<p>Er is geen bijkomend distributiesysteem nodig voor een lucht/lucht warmtepomp.</p>	<p>De warmte/koude wordt door de binnenunit onmiddellijk afgegeven aan de binnenlucht.</p>
Geluidhinder binnenunit	<p>De ventilator van de binnenunit is een geluidsbron</p> <p>Hoe lager het debiet, hoe trager en dus stiller een ventilator kan draaien.</p>	<p>Regelmatig onderhoud van eventuele filters vermijdt onnodige obstructie van de luchtstroom.</p>



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Geluidhinder buitenunit	<p>Bij een opstelling op het perceel is de akoestische hinder voor zowel het eigen perceel als de aangrenzende percelen een aandachtspunt.</p> <p>In het Vlaams Gewest is dit beperkt tot 30 dB op 0,5m van de naburige woning. Dat kan worden vergeleken met het geluidsniveau van een fluistergesprek of zachte muziek.</p>	<p>Sommige fabrikanten bieden warmtepompen aan waarbij in het bijzonder aandacht is geschonken aan het verlagen van de geluidsproductie. Geluidwerende maatregelen zoals omkastingen en geluidsschermen komen in verschillende vormen, kleuren en materialen voor.</p> <p>Voldoende afstand is nodig tussen de buitenunit en de opengaande ramen van (slaap)kamers, ook die van de burens.</p> <p>De gekanaliseerde opstelling verplaatst een deel van de hinder naar een (nuts-)ruimte binnen.</p>



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement voor verwarmen en koelen is weersafhankelijk .
Sanitair warm tapwater	Een lucht/lucht warmtepomp kan geen sanitair warm tapwater bereiden. Een tweede systeem is altijd nodig.
Uitbreiding meterkast	Voor een lucht/lucht warmtepomp wordt een eigen zekering aanbevolen in de meterkast.

1.3.3 VOOR- EN NADELEN

Voordelen van een lucht/lucht warmtepomp:

- Beperkte investering in vergelijking met andere warmtepompsystemen.
- Het is een relatief reactief systeem voor het leveren van warmte of koude aan een ruimte in vergelijking met water/water of lucht/water warmtepompen. Dit betekent dat de warmtepomp snel warmte begint af te geven in de woning wanneer de verwarming wordt aangezet. Naast het gebruik van de lucht/lucht warmtepomp als hoofdverwarming, biedt de technologie ook opportuniteiten voor de tijdelijke (bij)verwarming van (occasionele) verblijfsruimtes.
- Beperkte ruimte nodig voor de buitenunit met de verdampers. De buitenunit kan afhankelijk van de erfgoedwaarde van het gebouw of de omgeving tegen de gevel, op het dak of in de tuin geplaatst worden. De buitenunit is ongeveer 90x75x40cm³ (BxHxD), of de grootte van een grote reiskoffer.
- Beperkte ruimte nodig voor de binnenunit met de condensator. De binnenunit kan afhankelijk van de erfgoedwaarde van het interieur aan een plafond of een buitenmuur opgehangen worden of op de vloer opgesteld worden.
 - Wandunits dicht tegen het plafond zijn ongeveer 90x30x25cm³ (BxHxD)
 - Wandunits op de vloer zijn typisch iets hoger en breder, ongeveer 100x65x25cm³ (BxHxD)
 - Plafondunits zijn ongeveer 70x70cm² (BxD) – ze worden in de hoogte meestal ingebouwd in een verlaagd plafond.
- Een lucht/lucht warmtepomp is meldingsplichtig vanaf 5 kWe, via het Omgevingsloket⁴⁵.
- Er is geen watervoerend distributiesysteem nodig.
- Relatief gemakkelijk weg te nemen zonder schade.

Nadelen van een lucht/lucht warmtepomp:

- Dit systeem kan een woning niet voorzien van sanitair warm tapwater, maak hiervoor bijvoorbeeld gebruik van een warmtepompboiler (zie Lucht/water warmtepomp – warmtepompboiler/Lucht/water warmtepomp – warmtepompboiler);
- De Coefficient of Performance (COP) en Energie-Efficiëntie Ratio (EER) zijn sterk afhankelijk van temperatuurschommelingen van de buitenlucht;
 - De EER wordt slechter bij zeer hoge buitentemperaturen;
 - De COP neemt af bij lage buitentemperaturen;
 - Bij piekbelasting (zeer lage of hoge buitentemperaturen) is er een forse toename in het elektriciteitsverbruik omdat het rendement daalt;
- Typische levensduur is beperkt tot 12 jaar;
- De buitenunit en de binnenunit van lucht/lucht warmtepompen zijn bronnen van omgevingslawaai;
- Elke buitenunit kan maximaal vijf binnenunits bedienen. Het aantal ruimtes die hiermee kunnen worden verwarmd, zal afhangen van onder andere het volume van de ruimte en het warmteverlies;
- De binnenunit moet goed afgestemd worden op de afmetingen van de ruimte en het benodigde warmte- of koelvermogen;
- De binnenunit produceert een luchtstroom die tot tochtklachten kan leiden.

1.4 LUCHT/WATER WARMTEPOMP - ALGEMEEN

1.4.1 BASISPRINCIPES

Een lucht/water warmtepomp haalt warmte en koude uit de buitenlucht. Er zijn twee subtypes beschikbaar: een monoblock uitvoering en een split uitvoering. Het verschil heeft te maken met de opstelling van de condensor en het medium in het circuit tussen de buitenunit en het distributiesysteem binnen de woning.

Bij een **monoblock uitvoering** bevat de buitenunit alle hoofdcomponenten: compressor, verdamper, condensor en expansieventiel. Via een watercircuit wordt de warmte vanaf de condensor in het monoblock de woning binnengebracht.

Bij een **split uitvoering** staat de verdamper buiten (buitenunit) en de condensor binnen (binnenunit). Tussen beide units loopt een koelmiddelcircuit. Vanaf de condensor kan direct binnen de woning de warmte afgegeven worden aan het distributiesysteem.

Een gekanaliseerde ('ducted') installatie van de unit met condensor biedt mogelijkheden wanneer een opstelling in de buitenlucht moeilijk verenigbaar is met de erfgoedwaarde van de gebouwschil. In dat geval wordt de unit geplaatst in een goed verluchte binnenruimte (kelder, zolder...) en wordt de buitenlucht via luchtkanalen aangezogen en/of weggeblazen.

Gezien de nodige debieten, moet rekening gehouden worden met grote aanvoer- en afvoerroosters in de gebouwschil (75x75cm²). De diameter van de luchtkanalen zelf heeft ook die grootteorde.

Indien de ruimte goed verlucht is, kan ook binnenlucht worden aangezogen en enkel de gebruikte lucht worden afgevoerd. Het is belangrijk de debieten correct te laten berekenen bij installatie, om te voorkomen dat de ruimte in onderdruk zou komen te staan.



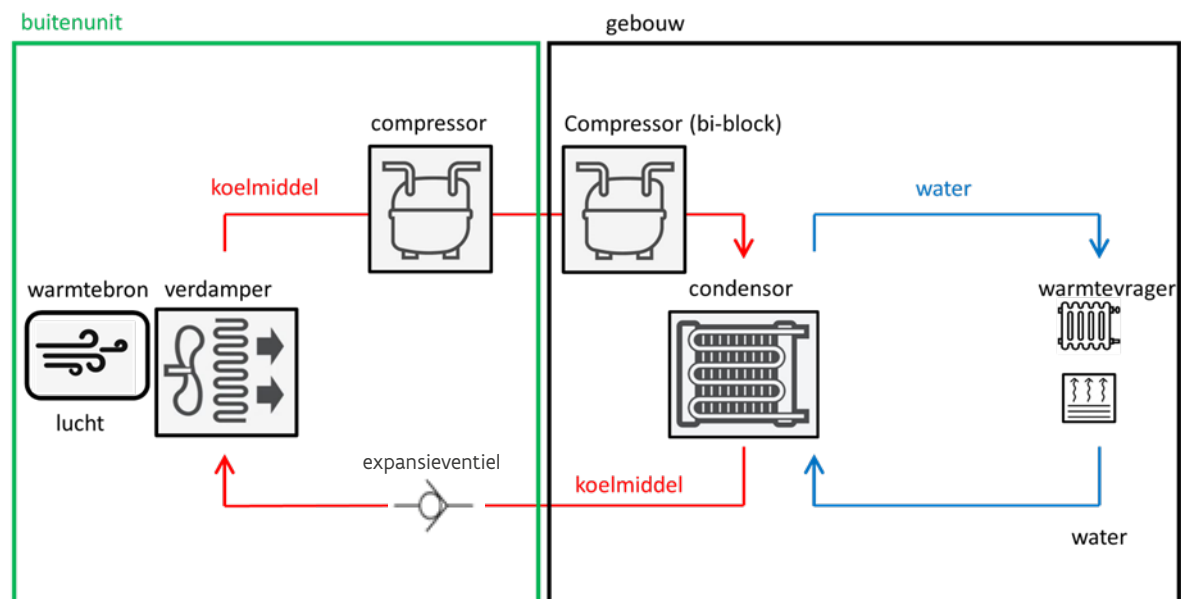
Doordat de lucht/water warmtepomp warmte uit de lucht haalt, kan er bij koude temperaturen ijsvorming optreden op de verdamper in de buitenunit. Wanneer dat gebeurt, gaat de warmtepomp automatisch over op de ontdooi-cyclus: de warmte die voordien werd aangemaakt om de woning op te warmen, wordt nu gebruikt om de verdamper te ontdoeien. Dit proces heeft een invloed op de energie-efficiëntie van de warmtepomp en zit mee vervat in de (S)COP.

FIGUUR 19: historische roosters in de gevel bieden mogelijkheden als aan-of afvoerrooster voor lucht van een buitenunit-voorbeeld Rommelaere Instituut, Gent ©Onroerend erfgoed



1.5 LUCHT/WATER WARMTEPOMP – SPLIT UITVOERING

1.5.1 WERKINGSPRINCIPE




FIGUUR 20: Schematische weergave lucht/water warmtepomp in een split opstelling – ©Daidalos Peutz bouwfysisch ingenieursbureau

Bij een split uitvoering bevinden de verdampers en compressor zich doorgaans buiten en de condensator binnen. Via de condensator wordt de warmte afgegeven aan een watervoerend distributiesysteem binnen de woning. Warmwaterproductie is met dit systeem mogelijk.

Bij de split uitvoering kan de compressor zich ook binnen bevinden. In deze situatie is er sprake van een lucht/water warmtepomp met een duoblock uitvoering. Het bijkomend voordeel is dat de buitenunit hierdoor kleiner is, en stiller. Het is immers de ventilator in de warmtepomp die zorgt voor geluidsproductie.

1.5.2 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie buitenunit	Een lucht/water warmtepomp vereist een opstelruimte voor een buitenunit. Dat kan tegen de gevel of op het dak. Hiervoor moet een doorvoer door de gebouwschil gerealiseerd worden (één of twee gaten in de muur met een diameter van enkele centimeters waardoor de leidingen tussen binnen- en buitenunit lopen).	Een buitenunit kan geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk. Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden. BELANGRIJK: Een omkasting heeft een weerstand op de luchtstroom. Dit heeft een impact op de debieten die de warmtepomp bij een bepaald vermogen opwekt. Daarom kan dit een negatieve invloed hebben op het rendement. Een omkasting verhoogt met andere woorden enigszins het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp. BELANGRIJK: respecteer de veiligheidszone rond warmtepompen met propaan als koelmiddel. Een expert kan helpen bij het ontwerpen van een omkasting om de correcte positie en/of het gewenste effect van de omkasting te bekomen.
Afmetingen buitenunit	De afmetingen van een buitenunit zijn gemiddeld 90x75x40cm ³ (BxHxD), de omvang van een grote reiskoffer.	
Leidingen en kanalen	Er loopt een circuit met koelmiddel tussen de buiten- en binnenunit. De leidingen hebben meestal een diameter van maximaal 3 tot 4 cm voor een split model. Bij een monobloc zijn de leidingen watervoerend en dus geïsoleerd. Zij zijn daarom 6 tot 8cm. De afstand tussen binnen- en buitenunit kan maximaal 25 meter bedragen. Om de afstand te bepalen moet men zowel de horizontale als verticale stukken van het leidingwerk optellen. (Bijvoorbeeld 5 meter in de hoogte en 20 meter in de diepte)	Voor het leggen van leidingen en kabels dient rekening gehouden te worden met de Richtlijn Agentschap Onroerend Erfgoed: Kabels op gevels met erfgoedwaarde: toelatingen en meldingen (26.07.2020) ⁴⁶



IMPACT OP HET INTERIEUR

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie binnenunit	Een lucht/water warmtepomp is altijd voorzien van een centrale binnenunit .	De binnenunit kan geplaatst worden in een technische ruimte. Een binnenunit met geïntegreerd voorraadvat wordt meestal op de vloer geplaatst, een binnenunit zonder geïntegreerd voorraadvat wordt meestal tegen de muur gehangen.
Afmetingen binnenunit	De afmetingen van een binnenunit zijn gemiddeld: 180x60x60cm ³ (HxBxD), de omvang een grote koelkast, als er een warm water voorraadvat mee geïntegreerd is. 80x40x40cm ³ (HxBxD), de omvang van een grote gas-ketel, als er geen of een apart voorraadvat.	
Leidingen en kanalen	Er loopt een circuit met koelmiddel tussen de buiten- en binnenunit. De leidingen hebben meestal een diameter van maximaal 3 tot 4 cm. De afstand tussen binnen- en buitenunit kan maximaal 25 meter bedragen. Om de afstand te bepalen moet men zowel de horizontale als verticale stukken van het leidingwerk optellen. (Bijvoorbeeld 5 meter in de hoogte en 20 meter in de diepte) Indien er hoogteverschillen zijn tussen de binnen- en buitenunit kunnen schachten noodzakelijk zijn.	Leidingen kunnen geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk. Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden om de leidingen in te leggen. Als dit niet het geval is, hou er dan rekening mee dat de schachten ingebracht worden zonder schade aan waardevolle plafonds, vloeren of andere interieurelementen.
Vorraadvat	Afhankelijk van de warmwatervraag kan een los voorraadvat noodzakelijk zijn. Dat is het geval wanneer er meer dan 200 liter volume nodig is. Men moet in dat geval zorgen dat er voldoende ruimte beschikbaar is in de woning.	Het voorraadvat kan geplaatst worden in een technische ruimte.
Distributiesysteem	Er is een watervoerend distributiesysteem nodig voor een lucht/water warmtepomp.	Indien aanwezig kunnen bestaande leidingen van een centraal verwarmingssysteem benut worden.
Warmteafgiftesysteem		Watervoerende systemen zijn compatibel met o.a. radiatoren, (ventilo-)convectoren en vloer- en wandverwarming.



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Geluidhinder buitenunit	<p>Bij een opstelling op het perceel is de akoestische hinder voor zowel het eigen perceel als de aangrenzende percelen een aandachtspunt.</p> <p>In het Vlaams Gewest is dit beperkt tot 30 dB op 0,5m van de naburige woning. Dat kan worden vergeleken met het geluidsniveau van een fluistergesprek of zachte muziek.</p>	<p>Sommige fabrikanten bieden warmtepompen aan waarbij in het bijzonder aandacht is geschonken aan het verlagen van de geluidsproductie. Geluidwerende maatregelen zoals omkastingen en geluidsschermen komen in verschillende vormen, kleuren en materialen voor.</p> <p>Voldoende afstand is nodig tussen de buitenunit en de opengaande ramen van (slaap)kamers, ook die van de burens.</p> <p>De gekanaliseerde opstelling verplaatst een deel van de hinder naar een (nuts-)ruimte binnen.</p>



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	<p>Rendement voor verwarmen en koelen is weersafhankelijk.</p> <p>Het rendement van lucht/water warmtepompen is hoger wanneer er verwarmd wordt op lage temperatuur. Zet eerst in op het isoleren van de woning of overweeg de plaatsing van bijkomende afgiftetoestellen.</p>
Sanitair warm tapwater	<p>Een lucht/water warmtepomp kan sanitair warm tapwater bereiden. Een tweede systeem is daarom niet altijd nodig.</p>
Uitbreiding meterkast	<p>Voor de aanleg van een lucht/water warmtepomp wordt een eigen zekering aanbevolen in de meterkast.</p>

1.5.3 VOOR- EN NADELEN

Voordelen van een split lucht/water warmtepomp:

- Kan – in tegenstelling tot een lucht/lucht warmtepomp – ook sanitair warm tapwater produceren;
- Het ruimteslag buiten is beperkt (de grootte van een grote reiskoffer, ongeveer 90x75x35cm³, of een gelijkaardig volume in kubusvorm). De verdampers kan bijvoorbeeld opgehangen worden aan een zijgevel, op het dak, in de tuin of in een schoorsteen weggewerkt worden;
- Er is geen watervoerend distributiecircuit nodig tussen de buitenunit en de binnenunit maar een koelmiddelcircuit. Een koelmiddelcircuit is flexibeler dan een watercircuit waardoor er meer mogelijkheden zijn met het realiseren van een doorvoer doorheen de buitenmuur.

Nadelen van een split lucht/water warmtepomp:

- Vereist een grotere opstelruimte binnen:
 - 180x60x60cm³, HxBxD, of de grootte van een grote koelkast – indien er een warm water voorraadvat mee geïntegreerd is;
 - 80x40x40cm³, HxBxD, of de grootte van een grote gasketel – indien er geen of een apart voorraadvat is;
- De maximale afstand tussen de binnenunit en de buitenunit is beperkt vanwege het koelmiddelcircuit. De afstand bedraagt maximaal 25 m (men moet zowel de horizontale als verticale stukken van het leidingwerk optellen). De opstelplaats voor de binnen- en buitenunit mogen dus niet te ver uit elkaar liggen;

- Kleiner maximaal beschikbaar verwarmingsvermogen in vergelijking met de monoblock of de water/water warmtepompen, dus minder geschikt bij een hoge warmtevraag;
- Lucht/water warmtepompen zijn gevoelig voor temperatuurschommelingen, de COP kan sterk variëren bij verschillende buitentemperaturen en verschillende watertemperatuurregimes. Ze verbruiken met andere woorden meer elektriciteit om te verwarmen bij lage buitentemperaturen;
- Lucht/water warmtepompen hebben een relatieve hoge geluidproductie die veroorzaakt wordt door de buiten- en binnenunit. Er zijn wettelijke richtlijnen waaraan de geluidproductie moet voldoen. Voor grotere vermogens kan er bij een vergunningsaanvraag een studie noodzakelijk zijn om aan te tonen dat de geluidproductie beperkt blijft;
- Lucht/water warmtepompen hebben meer bewegende onderdelen dan water/water warmtepompen. Dat maakt hen gevoeliger voor onderhoud en beperkt hun levensduur.

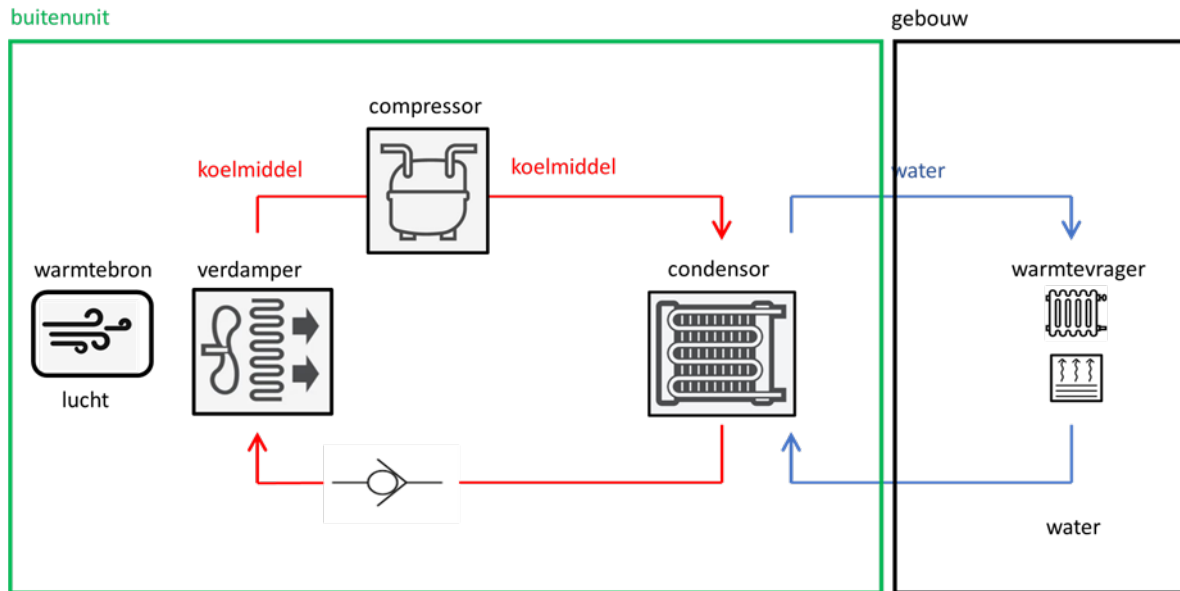
Afhankelijk van de specifieke omstandigheden heeft een split of duoblock uitvoering de voorkeur wat betreft geluidsproductie. Bij een split systeem is de geluidsproductie buiten (dit kan een voordeel zijn indien er binnen een grote kans is op geluidshinder). Bij een duoblock systeem is de geluidsproductie binnen (een voordeel wanneer potentiële geluidsoverlast zich voornamelijk buiten situeert).



FIGUUR 21: Voorbeeld buiten- en binnenunit warmtepomp in een vakwerkwoning in Zoutleeuw (installatiebouw.be)

1.6 LUCHT/WATER WARMTEPOMP – MONOBLOCK UITVOERING

1.6.1 WERKINGSPRINCIPE



daidalos peutz bouwfysisch ingenieursbureau 05/02/2023

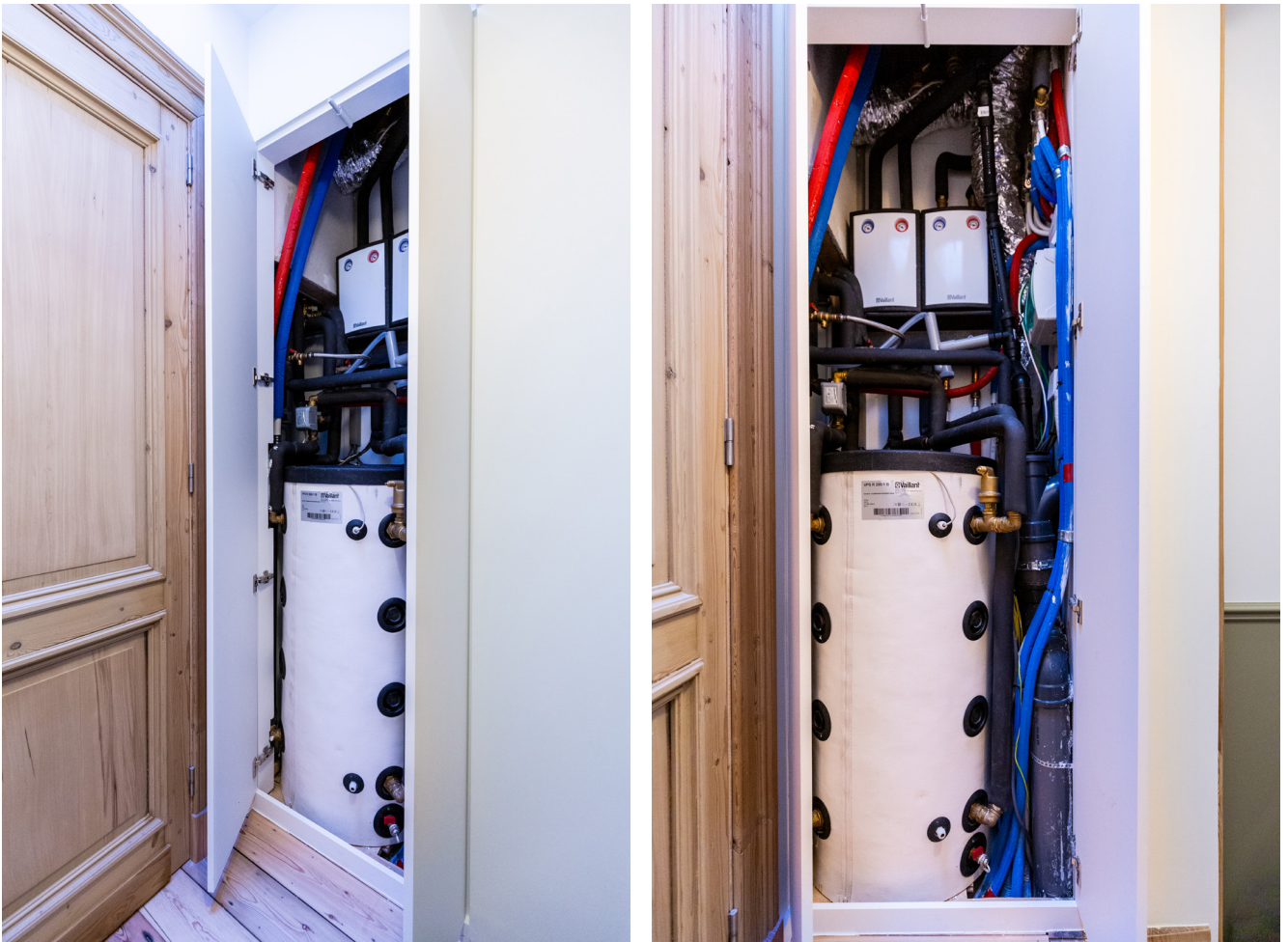
FIGUUR 22: Schematische weergave van een monoblock lucht/water warmtepomp – ©Daidalos Peutz bouwfysisch ingenieursbureau

Bij een monoblock uitvoering zijn de verdamper en de condensor vervat in één systeem dat zich buiten de woning bevindt. Het koelmiddelcircuit is geïntegreerd in de unit. In plaats van een koelmiddelcircuit is er een watervoerend leidingcircuit aanwezig tussen de buitenunit en de rest van de installatie binnen in de woning. De productie van sanitair warm tapwater is met dit systeem mogelijk.



FIGUUR 23: links voorgevel woning, rechts monoblock op achterbouw in Zurenborg, niet zichtbaar vanop maaiveld achtertuin – ©Dieter Daniels, Rooilijn Architectuur

FIGUUR 24: monoblock op achterbouw in Zurenborg, geïsoleerde leidingen en dakdoorvoer – ©Dieter Daniels, Rooilijn Architectuur



FIGUUR 25: links en recht binneneenheid van monoblock installatie, ingewerkt in nis – ©Dieter Daniels, Rooilijn Architectuur

1.6.2 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie buitenunit	<p>Een monoblock lucht/water warmtepomp vereist een opstelruimte voor een buitenunit. Dat kan tegen de gevel of op het dak.</p> <p>Hiervoor moet een doorvoer door de gebouwschil gerealiseerd worden (één of twee gaten in de muur met een diameter van enkele centimeters waardoor de leidingen tussen binnen- en buitenunit lopen).</p>	<p>Bepaal een opstelruimte voor de buitenunit waar de visuele impact ervan minimaal (bvb. plaatsing in een nis, of achter een groene haag) is. Een buitenunit kan geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk.</p> <p>Een expert kan helpen bij het ontwerpen van een omkasting om de correcte positie en/of het gewenste effect van de omkasting te bekomen.</p> <p>BELANGRIJK: Een omkasting heeft een bepaalde weerstand op de luchtstroom. Dit heeft een impact op de debieten die de warmtepomp bij een bepaald vermogen opwekt en kan een negatieve invloed hebben op het rendement. Een omkasting verhoogt met andere woorden enigszins het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp.</p> <p>BELANGRIJK: respecteer de veiligheidszone rond warmtepompen met propaan als koelmiddel.</p> <p>Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden bij het realiseren van de doorvoer. Probeer doorboringen te beperken en de visuele impact minimaal te houden</p>
Afmetingen buitenunit	De afmetingen van een buitenunit zijn gemiddeld 120x75x40cm ³ (BxHxD), de omvang van een vrieskast.	
Leidingen en kanalen	<p>Er loopt een circuit met water tussen de buiten- en binnenunit.</p> <p>De afstand tussen binnen- en buitenunit kan bij een monoblock groter zijn dan bij de split uitvoering. Afstanden tot 30 meter zijn typisch mogelijk, grotere afstanden kunnen in samenspraak met de installateur onderzocht worden, maar gaan meestal ten koste van het rendement. (Bijvoorbeeld 5 meter in de hoogte en 20 meter in de diepte)</p>	Richtlijn Agentschap Onroerend Erfgoed: Kabels op gevels met erfgoedwaarde: toelatingen en meldingen (26.07.2020) ⁴⁷



IMPACT OP HET INTERIEUR

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie binnenunit	Een monoblock lucht/water warmtepomp is altijd voorzien van een centrale binnenunit voor warm wateropslag.	De binnenunit kan geplaatst worden in een technische ruimte. Een binnenunit met geïntegreerd voorraadvat wordt meestal op de vloer geplaatst.
Afmetingen binnenunit	De afmetingen van een binnenunit zijn gemiddeld: <ul style="list-style-type: none"> - 180x60x60cm³ (HxBxD), de omvang van een grote koelkast, als er een warm water voorraadvat mee geïntegreerd is. - 80x40x40cm³ (HxBxD); de omvang van een grote gasketel, als er geen of een apart voorraadvat is. 	
Leidingen en kanalen	Er loopt een circuit met water tussen de buiten- en binnenunit. De afstand tussen binnen- en buitenunit kan bij een monoblock groter zijn dan bij de split uitvoering. Afstanden tot 30 meter zijn typisch mogelijk, grotere afstanden kunnen in samenspraak met de installateur onderzocht worden, maar gaan meestal ten koste van het rendement. (Bijvoorbeeld 5 meter in de hoogte en 20 meter in de diepte) Indien er hoogteverschillen zijn tussen de binnen- en buitenunit kunnen schachten noodzakelijk zijn.	Leidingen kunnen geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk. Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden om de leidingen in te leggen. Als dit niet het geval is, hou er dan rekening mee dat de schachten ingebracht worden zonder schade aan waardevolle plafonds, vloeren of andere interieurelementen.
Vorraadvat	Afhankelijk van de warmwatervraag kan een los voorraadvat noodzakelijk zijn. Dat is het geval wanneer er meer dan 200 liter volume nodig is. Men moet in dat geval zorgen dat er voldoende ruimte beschikbaar is in de woning.	Het voorraadvat kan geplaatst worden in een technische ruimte.
Distributiesysteem	Er is een watervoerend distributiesysteem nodig voor een lucht/water warmtepomp.	Indien aanwezig kunnen bestaande leidingen van een centraal verwarmingssysteem benut worden.
Afgiftesysteem		Watervoerende systemen zijn compatibel met o.a. radiatoren, (ventilo-)convectoren en vloer- en wandverwarming.



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Geluidhinder buitenunit	<p>Bij een opstelling op het perceel is de akoestische hinder voor zowel het eigen perceel als de aangrenzende percelen een aandachtspunt.</p> <p>In het Vlaams Gewest is dit beperkt tot 30 dB op 0,5m van de naburige woning. Dat kan worden vergeleken met het geluidsniveau van een fluistergesprek of zachte muziek.</p>	<p>Sommige fabrikanten bieden warmtepompen aan waarbij in het bijzonder aandacht is geschonken aan het verlagen van de geluidsproductie.</p> <p>Geluidwerende maatregelen zoals omkastingen en geluidsschermen komen in verschillende vormen, kleuren en materialen voor.</p> <p>Voldoende afstand is nodig tussen de buitenunit en de opengaande ramen van (slaap)kamers, ook die van de burens.</p> <p>De gekanaliseerde opstelling verplaatst een deel van de hinder naar een (nuts-)ruimte binnen.</p>



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	<p>Rendement voor verwarmen en koelen is weersafhankelijk.</p> <p>Het rendement van monoblock lucht/water warmtepompen is hoger wanneer er verwarmd wordt op lage temperatuur. Zet eerst in op het isoleren van de woning of overweeg de plaatsing van bijkomende afgiftetoestellen.</p>
Sanitair warm tapwater	<p>Een monoblock lucht/water warmtepomp kan sanitair warm tapwater bereiden. Een tweede systeem is daarom niet altijd nodig.</p>
Uitbreiding meterkast	<p>Voor de aanleg van een lucht/water warmtepomp wordt een eigen zekering aanbevolen in de meterkast.</p>

1.6.3 VOOR- EN NADELEN

Voordelen van een monoblock lucht/water warmtepomp tegenover een split uitvoering:

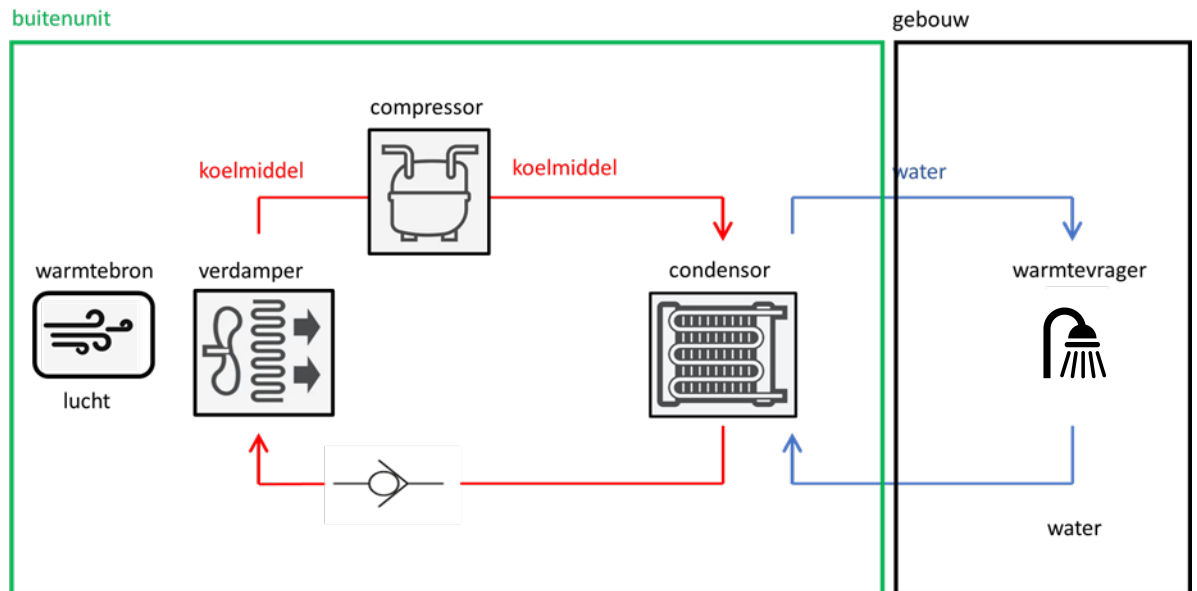
- de warmtepomp haalt vaak een hoger rendement. Dit heeft o.a. te maken met het feit dat de monoblock toestellen meestal de recentere toestellen zijn;
- het ruimtebeslag binnen is beperkter;
- Een grotere afstand is mogelijk tussen de buitenopstelling en de binnenopstelling, maar dit gaat ten koste van het rendement;
- hydraulische verbindingsleidingen kunnen na einde levensduur monoblock herbruikt worden, wat niet mogelijk bij split toestellen;
- monoblock toestellen zijn algemeen met meer toekomstgerichte koelmiddelen beschikbaar;
- installateur monoblock moet geen koeltechnisch certificaat hebben (meer installateurs mogen er mee werken);
- de geluidproductie van de buitenunit is lager omdat de ventilator bij de monoblock variant groter is dan bij de split uitvoering. Het toerental kan dus lager zijn. Er zijn wettelijke richtlijnen waaraan de geluidproductie moet voldoen. Voor grotere vermogens kan er bij een vergunningsaanvraag een studie noodzakelijk zijn om aan te tonen dat de geluidproductie beperkt blijft.

Nadelen van een monoblock lucht/water warmtepomp tegenover een split uitvoering:

- Voor een monoblock systeem is er een watervoerend distributiesysteem noodzakelijk vanaf de buitenopstelling naar binnen. Deze leidingen zijn minder flexibel dan de koelmiddelleidingen en zijn gemiddeld gezien groter. Vorstbeveiliging is nodig.

1.7 LUCHT/WATER WARMTEPOMP – WARMTEPOMPBOILER

1.7.1 WERKINGSPRINCIPE



daidalos peutz bouwfysisch ingenieursbureau 05/02/2023

FIGUUR 26: Schematische weergave van een warmtepompboiler – ©Daidalos Peutz bouwfysisch ingenieursbureau

Deze variant van de lucht/water warmtepomp wordt enkel gebruikt voor de verwarming van sanitair warm water. Het is een alternatief voor bijvoorbeeld een elektrische boiler. Een warmtepompboiler wordt doorgaans in een binnenruimte geïnstalleerd en gebruikt lucht als warmtebron. Er zijn verschillende opstellingen mogelijk:

- Aanvoer van buitenlucht met afvoer naar buiten
- Aanvoer van binnenlucht met afvoer naar buiten
- Gekoppeld aan de afvoer van ventilatielucht

In het eerste geval wordt verse lucht van buiten aangevoerd en de gebruikte (koude) lucht naar buiten afgevoerd. In deze opstelling zijn er geen nadelige effecten op de ruimte waarin de warmtepompboiler geïnstalleerd is. Er ontstaan namelijk geen bijkomende ventilatiestromen en de lucht wordt niet afgekoeld.

Wanneer (warmere) binnenlucht als bron wordt gebruikt in het tweede geval, verhoogt dit de efficiëntie van de warmtepompboiler. Door rechtstreeks gebruik te maken van binnenlucht (in bijvoorbeeld garage of berging) genereert dit een luchtverplaatsing die mogelijk nadelige gevolgen heeft voor het comfortgevoel. De ruimte waarin de warmtepompboiler staat, wordt hierdoor ook afgekoeld.

Het is dan energetisch interessanter te opteren voor het derde systeem, waarbij de warmtepompboiler gekoppeld wordt aan de mechanische afvoer van ventilatielucht. Zo wordt de warmte die deze afvoerlucht bevat nog benut door de warmtepompboiler.




FIGUUR 27: Woning in Waals Gewest met warmtepompboiler. Foto links: luchttoevoer in voorgevel van de aanbouw. Foto midden: warmtepompboiler in technische berging. Foto rechts: luchtafvoer via dakvlak achteraan - ©Buildwise




FIGUUR 28 en 29: Warmtepompboiler in de abdij van Tongerlo, foto's Kris De Brabander

1.7.2 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie buitenunit	Een warmtepompboiler heeft één of twee doorvoeren door de gebouwschil voor de aanvoer en/of afvoer van lucht. Hiervoor worden openingen gerealiseerd en voorzien van ventilatieroosters (één of twee gaten in de muur met een diameter van een tiental centimeters).	Deze aan/afvoerleidingen kunnen gebruik maken van bestaande ventilatieopeningen of schouwgevelen, afhankelijk van de positie van de warmtepompboiler.
Leidingen en kanalen	De luchtkanalen hebben een diameter tot 18cm. De diameter is afhankelijk van het vermogen van de warmtepompboiler.	

 IMPACT OP HET INTERIEUR		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie binnenunit	Een warmtepompboiler is altijd voorzien van een warm wateropslag.	De binnenunit kan geplaatst worden in een technische ruimte. Een binnenunit met geïntegreerd voorraadvat wordt meestal op de vloer geplaatst.
Afmetingen binnenunit	De afmetingen van een binnenunit zijn gemiddeld 180x60x60cm ³ (HxBxD), de omvang van een grote koelkast, als er een warm water voorraadvat mee geïntegreerd is.	
Leidingen en kanalen	Er loopt een circuit met water tussen de warmtepompboiler en de collectoren van het sanitair warm water.	Leidingen kunnen geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk. Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden om de leidingen in te leggen. Als dit niet het geval is, hou er dan rekening mee dat de schachten ingebracht worden zonder schade aan waardevolle plafonds, vloeren of andere interieurelementen.
Distributiesysteem	Voor een warmtepompboiler is een watervoerend distributiesysteem nodig.	Indien aanwezig kunnen bestaande leidingen van een centraal verwarmingssysteem benut worden.

 IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement voor verwarmen en koelen is weersafhankelijk, tenzij wordt gebruik gemaakt van de afgevoerde ventilatielucht.
Sanitair warm tapwater	Een warmtepompboiler bereidt sanitair warm water.
Uitbreiding meterkast	Voor de plaatsing van een warmtepompboiler wordt een eigen zekering aanbevolen in de meterkast.

1.7.3 VOOR- EN NADELEN

Voordelen van een warmtepompboiler tegenover een elektrische boiler:

- de warmtepompboiler haalt een hoger rendement;
- het ruimtebeslag binnen is beperkter;

Nadelen van een monoblock lucht/water warmtepomp tegenover een split uitvoering:

- het ruimtebeslag van een warmtepompboiler is iets groter, omdat naast de boiler ook een warmtepomp verwerkt zijn in het toestel;
- de geluidproductie van een warmtepompboiler is iets hoger, omwille van de ventilator en de luchtverplaatsing.

1.8 WATER/WATER (GEOOTHERMISCHE) WARMTEPOMP – ALGEMEEN

1.8.1 BASISPRINCIPES

Een water/water warmtepomp haalt warmte en koude uit de bodem. Er zijn verschillende types beschikbaar: een uitvoering met verticale grondwarmtewisselaars en uitvoering met een horizontaal captatienet.

Bij een **verticale uitvoering** worden boringen tot 150 meter diep uitgevoerd (ondiepe geothermie, boorgatenergieopslag). De beschikbare brontemperatuur is daardoor erg constant.

Bij een **horizontale uitvoering** wordt de warmte op ongeveer anderhalve meter onder het maaiveld gehaald. De beschikbare brontemperatuur is minder constant dan bij de verticale uitvoering.

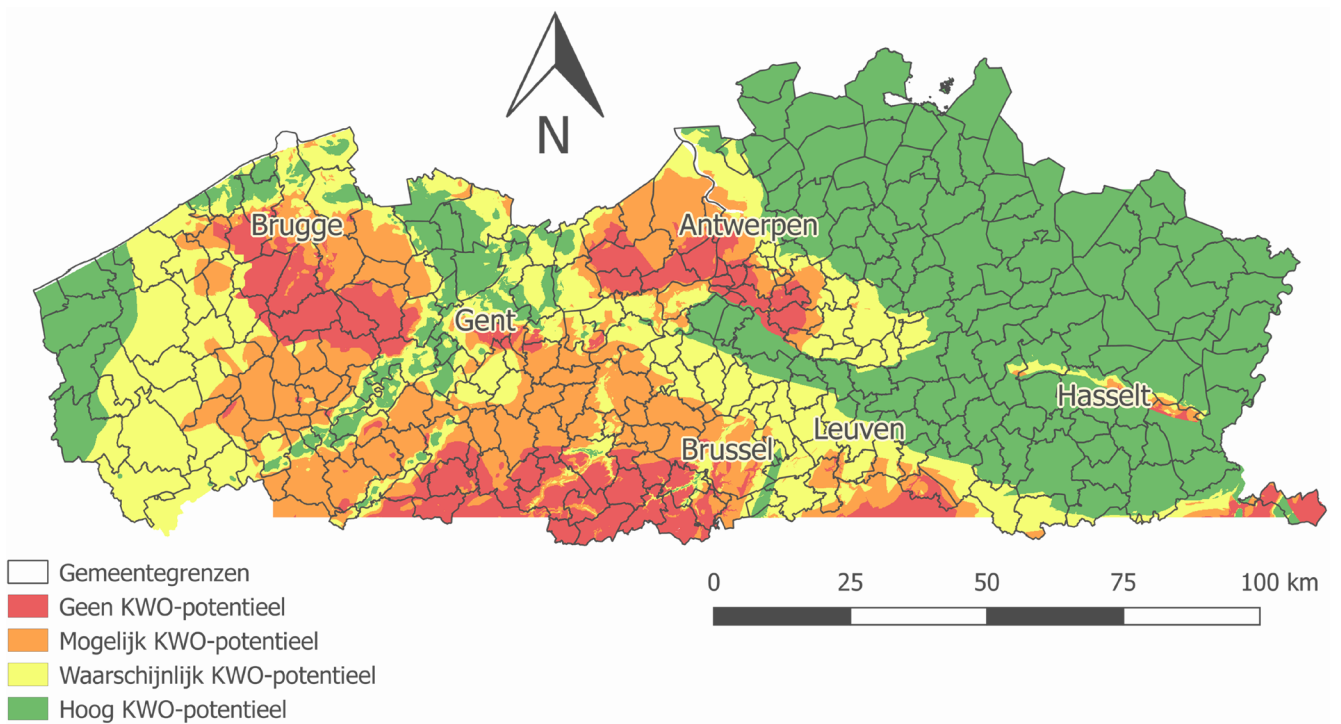
In beide gevallen kunnen we bovendien spreken van een **Koude en Warmte Opslagsysteem (KWO)**. Door in de winter warmte te onttrekken aan de bodem, koelt deze stelselmatig af. Dat is interessant om deze koude in de zomermaanden in te zetten als koeling. De warmte die op dat moment uit de gebouwen wordt onttrokken, laadt als het ware de bodem weer op met warmte voor het volgende verwarmingsseizoen.

De hoeveelheid warmte die beschikbaar is, hangt af van de geologie van de locatie en met name de dikte van de watervoerende lagen en de doorlatendheid van de bodem (zie Figuur 30).



De water/water warmtepomp kan warmte uit de bodem halen. Deze heeft maar beperkte temperatuurschommelingen, waardoor het hele jaar door een hoog rendement kan gehaald worden.

In warme periodes kan de temperatuur van de bodem ook benut worden voor koeling.



FIGUUR 30: Potentieel voor Koude en Warmte Opslagsystemen (KWO) in Vlaanderen – ©smartgeotherm

De water/water warmtepomp kan ook worden ingezet om de warmte uit oppervlaktewater te benutten. In dat geval spreken we van **aquathermie**. De toepassing hiervan in Vlaanderen in erfgoedcontext staat nog in zijn kinderschoenen maar biedt heel wat potentieel in specifieke situaties. Toepassingen zijn bijvoorbeeld al gerealiseerd bij de Dijlemolens (appartementencomplex) in Leuven en bij het kasteel de Merode in Westerlo.

FIGUUR 31: installatie van de warmtewisselaars in de slotgracht van het 14^e eeuwse kasteel de Merode in Westerlo © Extraqt





FIGUUR 32: binnenbrengen leidingen aquathermische installatie © Extraqt en Figuur 33: binnenunit aquathermische installatie kasteel de Merode in Westerlo © Nieuwsblad, 24 maart 2023

Bij een water/water warmtepomp is het ook mogelijk om koude uit de bodem te halen. Omdat de bodemtemperatuur relatief constant blijft (5 tot 11 °C) kan deze koude zonder inzet van actieve componenten (de compressor hoeft niet te werken) onmiddellijk voor koeling ingezet worden. Dit wordt **passieve koeling** genoemd. Deze temperaturen zijn in veel situaties direct geschikt voor bijvoorbeeld vloerkoeling. In deze situatie kan de warmtepomp als warmtewisselaar functioneren. Er hoeft geen compressie plaats te vinden voor de opwekking van koude waardoor het elektriciteitsverbruik significant afneemt.

1.8.2 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

Zowel de plaatsing van horizontale als verticale captatienetten hebben een impact op de ondergrond. Het opmaken van een **inplantingsplan** met vermelding van de projectzone en de landschapsaanleg is daarom noodzakelijk voor een correcte beoordeling.

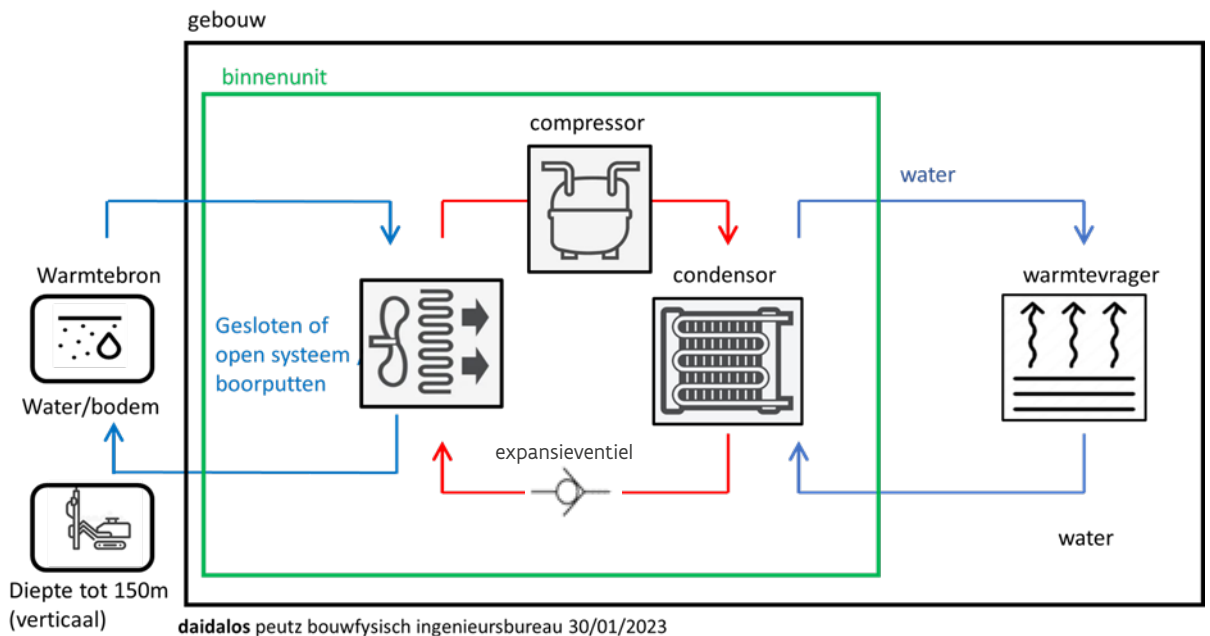
Plaatsen met **waardevolle vegetatie** die niet hersteld kunnen worden na de ingreep, komen niet in aanmerking. Naast de artistieke tuinhistorische waarde, kan dit ook de natuurwetenschappelijke erfgoedwaarde van de tuin of omgeving van het gebouw betekenen.

Wanneer er nabij de projectzone een beschermde boom staat, moeten de werken **buiten de wortelzone** uitgevoerd worden. Hiervoor wordt best gebruik gemaakt van de totale boombeschermingszone (TBBZ) zoals opgenomen in het standaardbestek (art. 4.3.6). Een andere mogelijkheid is om de wortelzone op voorhand te laten bepalen door een erkend boomverzorger. Dat gebeurt door middel van proefsleuven en kan o.a. worden toegepast bij uitermate waardevolle bomen.

1.9 WATER/WATER WARMTEPOMP – VERTICALE SYSTEMEN

1.9.1 WERKINGSPRINCIPE

Bodem/water warmtepomp



FIGUUR 34: Schematische weergave van een bodem/water warmtepomp © daidalos Peutz

Bij verticale systemen kan bovendien een onderscheid gemaakt worden tussen open en gesloten systemen. Het verschil tussen de systemen zit in welke distributievloeistof gebruikt wordt en hoe de vloeistof in de leidingen en boorputten wordt rondgepompt. Bij beide systemen worden verticale boringen tot maximaal 150 meter diep uitgevoerd.

Bij een **open systeem** wordt grondwater direct uit de bodem omhoog gepompt, er is geen sprake van een gesloten circuit. Op gebouwniveau wordt er vervolgens warmte en koude onttrokken uit het grondwater. Daarna wordt het grondwater weer omlaag geleid naar de bron in de bodem waar het de warmte of koude terug kan afgeven. Deze systemen zijn veeleer geschikt voor grote vermogens en collectieve systemen, en niet inzetbaar bij individuele woningen.


Bij een **gesloten systeem** circuleert de distributievloeistof (typisch een water-glycol mengsel) in een gesloten kring. De distributievloeistof komt dus niet in direct contact met de bodem. De verticale boorputten worden in een raster geordend met een tussenafstand van 6 tot 7 meter. In elk boorgat worden 2 verticale U-lussen (leidingen) aangebracht, waarin het water-glycolmengsel (antivries, brine) zal stromen. De U-lussen worden dan met elkaar verbonden aan de oppervlakte via een collector. De uitwisseling van de warmte of koude gebeurt op verschillende manieren en is afhankelijk van het type bron.

De keuze tussen een open of gesloten systeem is afhankelijk van het nodige vermogen en de bodem zelf. Bijvoorbeeld de diepte van de grondwatertafel, eventuele bodemvervuiling of de opbouw van de aardlagen spelen hierbij een rol. Welke toepassing geadviseerd wordt moet bepaald worden via een bodemonderzoek.



FIGUUR 35: binnenunit van water/water warmtepomp in Palazzo Zabarella, (Padova, Italië) - ©Galletti Group

1.9.2 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie doorvoer	Tussen de bodemlussen en de binnenunit moeten leidingen voorzien worden. Hiervoor moet een doorvoer door de gebouwschil gerealiseerd worden (één of twee gaten in de (kelder-)muur met een diameter van ongeveer 8 centimeter waardoor de leidingen tussen binnen- en buitenunit lopen).	Doorvoeren mogen in een kruipruimte of kelder geplaatst worden. Vanaf buiten mag dit in een koekoek of kooft of ondergronds (in dat geval moet een deel van de tuin open gegraven worden).



IMPACT OP HET INTERIEUR

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie binnenunit	Een verticale water/water warmtepomp heeft een centrale binnenunit .	De binnenunit kan geplaatst worden in een technische ruimte.
Afmetingen binnenunit	De afmetingen van een binnenunit zijn gemiddeld: 180x60x60cm ³ (HxBxD), de omvang van een grote koelkast, als er een warm water voorraadvat mee geïntegreerd is. 100x60x60cm ³ (HxBxD), de omvang van een kleine koelkast, als er geen of een apart voorraadvat is.	
Leidingen en kanalen	Er loopt een circuit met anti-vriesmiddel tussen het buitendeel en binnenunit. De leidingen hebben meestal een diameter van maximaal 3 tot 4 cm. Indien er hoogteverschillen zijn tussen de binnenunit en de bodemlussen kunnen schachten noodzakelijk zijn.	Leidingen kunnen geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk. Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden om de leidingen in te leggen. Als dit niet het geval is, hou er dan rekening mee dat de schachten ingebracht worden zonder schade aan waardevolle plafonds, vloeren of andere interieurelementen.
Vorraadvat	Afhankelijk van de warmwatervraag kan een los voorraadvat noodzakelijk zijn. Dat is het geval wanneer er meer dan 200 liter volume nodig is. Men moet in dat geval zorgen dat er voldoende ruimte beschikbaar is in de woning.	Het voorraadvat kan geplaatst worden in een technische ruimte.
Distributiesysteem	Er is een watervoerend distributiesysteem nodig voor een verticale water/water warmtepomp.	Indien aanwezig kunnen bestaande leidingen van een centraal verwarmingssysteem benut worden.
Afgiftesysteem	Watervoerende systemen zijn compatibel met o.a. radiatoren, (ventilo-)convectoren en vloer- en wandverwarming.	Bestaande afgiftesystemen kunnen waar mogelijk hergebruikt worden
Geluidhinder binnenunit	De binnenunit is een geluidsbron, vergelijkbaar met een koelkast.	



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie boorputten	Een verticale water/water warmtepomp vereist ruimte op het perceel om de boorputten te plaatsen. Tussen de boorputten is typisch een afstand van 6 tot 7 meter. Het aantal boorputten is onder andere afhankelijk van het benodigde vermogen. Een bodemonderzoek geeft informatie over hoeveel vermogen men uit één boring kan halen. Woningen met een performante gebouwschil vereisen typisch twee boorputten.	De mogelijkheid voor het inplannen van de boorputten dient te worden overwogen, rekening houdend met de aanwezige erfgoedelementen op en onder het terrein zoals waardevolle beplanting, park- of tuinaanleg, archeologisch erfgoed in de bodem. Een archeologienota of archeologisch onderzoek is mogelijk vereist. zie webpagina: https://www.onroenderfgoed.be/een-archeologisch-onderzoek-nodig
Uitvoeren boringen	Bij de aanleg van een verticale water/water warmtepomp moeten boringen op het perceel uitgevoerd worden. Hiervoor wordt zwaar materieel gebruikt, bijvoorbeeld een graafmachine en een putboormachine. Een werkzone van zo'n 4x4m ² is nodig. Het uitvoeren van boringen veroorzaakt trillingen. Boringen bevinden zich minimaal 1,5m van de woning of een ander obstakel.	Om schade door trillingen te vermijden is het belangrijk de minimale afstand tot gebouwen te respecteren en een toezien oog te houden tijdens de uitvoering. De impact op erfgoedelementen van de in te zetten voertuigen, machines en personen, moet in rekening gebracht worden bij het opmaken van het uitvoeringsplan. Er moeten voorzorgsmaatregelen genomen worden tijdens de werken om beschermde omgevingsaanleg te vrijwaren (rijplaten, boomverzorger betrekken etc.)



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement voor verwarmen en koelen is niet weersafhankelijk . Het rendement van verticale water/water warmtepompen is hoger wanneer er verwarmd wordt op lage temperatuur. Zet eerst in op het isoleren van de woning of overweeg de plaatsing van bijkomende afgiftetoestellen.
Sanitair warm tapwater	Een verticale water/water warmtepomp kan sanitair warm tapwater bereiden. Een tweede systeem is daarom niet altijd nodig.
Uitbreiding meterkast	Voor de aanleg van een water/water (geothermische) warmtepomp wordt een eigen zekering aanbevolen in de meterkast.

1.9.3 VOOR- EN NADELEN

Voordelen van een verticale water/water warmtepomp

- Kan ook warm tapwater produceren.;
- Beperkte temperatuurschommelingen. De brontemperatuur (bodem) is stabiel dan de buitenluchttemperatuur. Hierdoor is het rendement stabiel;
- Bij een water/water warmtepomp is er sprake van passieve koeling. Omdat de temperatuur van de bodem ook in de zomer laag is (zo'n 10°C), kan de warmtepomp als warmtewisselaar werken. Wanneer de warmtepomp in koelmodus draait, verbruikt de installatie dus relatief weinig elektriciteit;
- Langere levensduur dan lucht/water warmtepompen, gemiddeld 15 tot 20 jaar voor de binnenunits en 25 tot 30 jaar voor de boringen;
- Geen buitenunit noodzakelijk in de buitenlucht, akoestiek en geluidhinder spelen minder een rol.

Nadelen van een verticale water/water warmtepomp

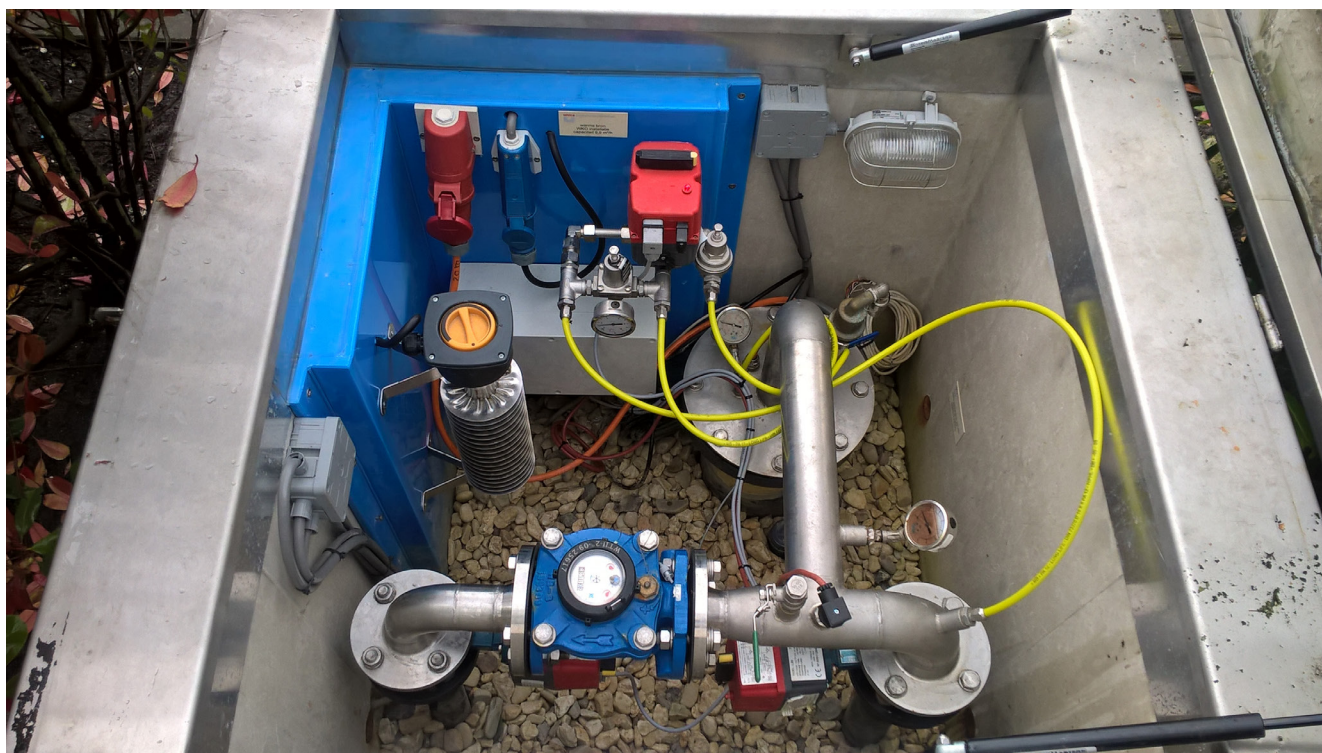
- Hogere initiële investering in vergelijking met andere warmtepompsystemen;
- Het terrein moet voldoende groot zijn voor de aanleg van de verticale boorgaten (circa 6,0 x 6,0 m² per boorgat);
 - Een afstand van 1,5m met de perceelsgrens moet gerespecteerd worden
 - Er zijn meerdere boringen nodig per perceel
- Een bodemonderzoek is aan te raden voor een correcte dimensionering van de verticale water/water warmtepomp;
- De realisatie van de bodemwarmtepomp is complexer dan bij een lucht/water warmtepomp:
 - Bij de uitvoering moet rekening gehouden worden met de bereikbaarheid van het terrein in verband met de boringen. Deze machines zijn vergelijkbaar met een grote graafmachine.
 - Bij het uitvoeren van de boringen ontstaan trillingen, wat tijdelijk een invloed kan hebben op omliggende bebouwing.

FIGUUR 36: verticale boringen
tuin beschermd monument de
Lombaert, Brugge – ©Ruben Willaert



FIGUUR 37: Voorbeeld van een booropstelling voor de aanleg van een
bodem warmtepomp⁴⁸





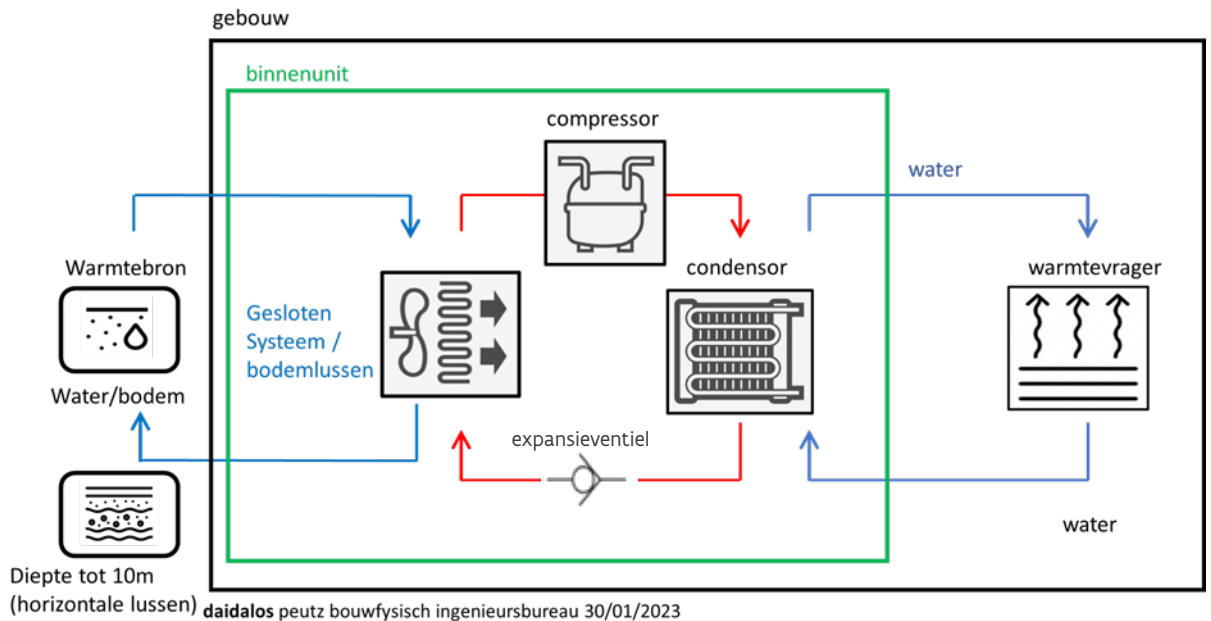
FIGUUR 38: Voorbeeld van een buiten opstelling van een bodem warmtepomp.⁴⁹



FIGUUR 39: los sanitair warm tapwater voorraadvat (200l), achter een binneneenheid - © VITO

1.10 WATER/WATER WARMTEPOMP – HORIZONTALE SYSTEMEN

1.10.1 WERKINGSPRINCIPE



FIGUUR 40: Schematische weergave van een horizontale water/water warmtepomp © daidalos

Horizontale systemen halen hun energie uit een horizontaal captatienet. Dat bestaat meestal uit kunststofbuizen die ongeveer 1,2 – 2,0 m diep in de tuin liggen. De buizen liggen als horizontale lussen in de grond. Via deze buizen wordt warmte uit de grond gehaald en via de condensator afgegeven aan het distributiesysteem.

Gezien de buitenoppervlakte die nodig is om een dergelijk systeem te implementeren, zal dit een systeem zijn dat vooral toepasbaar is in rurale omgevingen.

Net als bij een verticale water/water warmtepomp, is er bij een horizontaal captatienet mogelijkheid tot passieve koeling. Het vermogen en de duur van het koelseizoen is wel beperkter.

1.10.2 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie doorvoer	Tussen de bodemplussen en de binnenunit moeten leidingen voorzien worden. Hiervoor moet een doorvoer door de gebouwschil gerealiseerd worden (één of twee gaten in de (kelder-)muur met een diameter van ongeveer 8 centimeter waardoor de leidingen tussen binnen- en buitenunit lopen).	Doorvoeren mogen in een kruipruimte of kelder geplaatst worden. Vanaf buiten mag dit in een koekoek of koef of ondergronds (in dat geval moet een deel van de tuin open gegraven worden).

 IMPACT OP HET INTERIEUR		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Afmetingen binnenunit	De afmetingen van een centrale binnenunit zijn gemiddeld 180x60x60cm ³ (HxBxD), de omvang van een grote koelkast, als er een warm water voorraadvat mee geïntegreerd is. 100x60x60cm ³ (HxBxD), de omvang van een kleine koelkast, als er geen of een apart voorraad vat is.	De binnenunit kan geplaatst worden in een technische ruimte.
Leidingen en kanalen	Er loopt een circuit met koelmiddel tussen de buiten- en binnenunit. De leidingen hebben meestal een diameter van maximaal 3 tot 4 cm. Indien er hoogteverschillen zijn tussen de binnenunit en de bodemplussen kunnen schachten noodzakelijk zijn.	Leidingen kunnen geïntegreerd worden in een omkasting. Afstemmen van materiaal of kleur is mogelijk/wenselijk. Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden om de leidingen in te leggen. Als dit niet het geval is, hou er dan rekening mee dat de schachten ingebracht worden zonder schade aan waardevolle plafonds, vloeren of andere interieurelementen.
Vorraadvat	Afhankelijk van de warmwatervraag kan een los voorraadvat noodzakelijk zijn. Dat is het geval wanneer er meer dan 200 liter volume nodig is. Men moet in dat geval zorgen dat er voldoende ruimte beschikbaar is in de woning.	Het voorraadvat kan geplaatst worden in een technische ruimte.
Distributiesysteem	Er is een watervoerend distributiesysteem nodig voor een horizontale water/water warmtepomp.	Indien aanwezig kunnen de bestaande leidingen benut worden.
Afgiftesysteem	Watervoerende systemen zijn compatibel met o.a. radiatoren, (ventilo-)convectoren en vloer- en wandverwarming.	Bestaande afgiftesystemen kunnen waar mogelijk hergebruikt worden
Geluidhinder binnenunit	De binnenunit is een geluidsbron, vergelijkbaar met een koelkast.	



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie captatielussen	Een horizontale water/water warmtepomp vereist ruimte op het perceel om de captatielussen te plaatsen. De lussen mogen niet onder vijvers of bomen geplaatst worden.	De mogelijkheid voor het inplannen van de boorputten dient te worden overwogen, rekening houdend met de aanwezige erfgoedelementen op en onder het terrein zoals waardevolle beplanting, park- of tuinaanleg, archeologisch erfgoed in de bodem. Een archeologienota of archeologisch onderzoek is mogelijk vereist. zie webpagina: https://www.onroenderfgoed.be/een-archeologisch-onderzoek-nodig
Afmetingen captatielussen	De bodemlussen bedragen ongeveer 9,0 m ² per lus. Het aantal lussen is afhankelijk van het benodigde warmtevermogen.	
Uitvoeren captatielussen	Bij de aanleg van een horizontale water/water warmtepomp moeten graafwerken op het perceel uitgevoerd worden. Hiervoor wordt zwaar materieel gebruikt, bijvoorbeeld een graafmachine.	Om schade door trillingen te vermijden is het belangrijk de minimale afstand tot gebouwen te respecteren en een toezien oog te houden tijdens de uitvoering. De impact op erfgoedelementen van de in te zetten voertuigen, machines en personen, moet in rekening gebracht worden bij het opmaken van het uitvoeringsplan. Er moeten voorzorgsmaatregelen genomen worden tijdens de werken om beschermde omgevingsaanleg te vrijwaren (rijplaten, boomverzorger betrekken etc.)



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement voor verwarmen en koelen is beperkt weersafhankelijk . Het rendement van horizontale water/water warmtepompen is hoger wanneer er verwarmd wordt op lage temperatuur. Zet eerst in op het isoleren van de woning.
Sanitair warm tapwater	Een horizontale water/water warmtepomp kan sanitair warm tapwater bereiden. Een tweede systeem is daarom niet altijd nodig.
Uitbreiding meterkast	Voor de aanleg van een lucht/lucht warmtepomp wordt een eigen zekering aanbevolen in de meterkast.

1.10.3 VOOR- EN NADELEN

Voordelen van een horizontale water/water warmtepomp

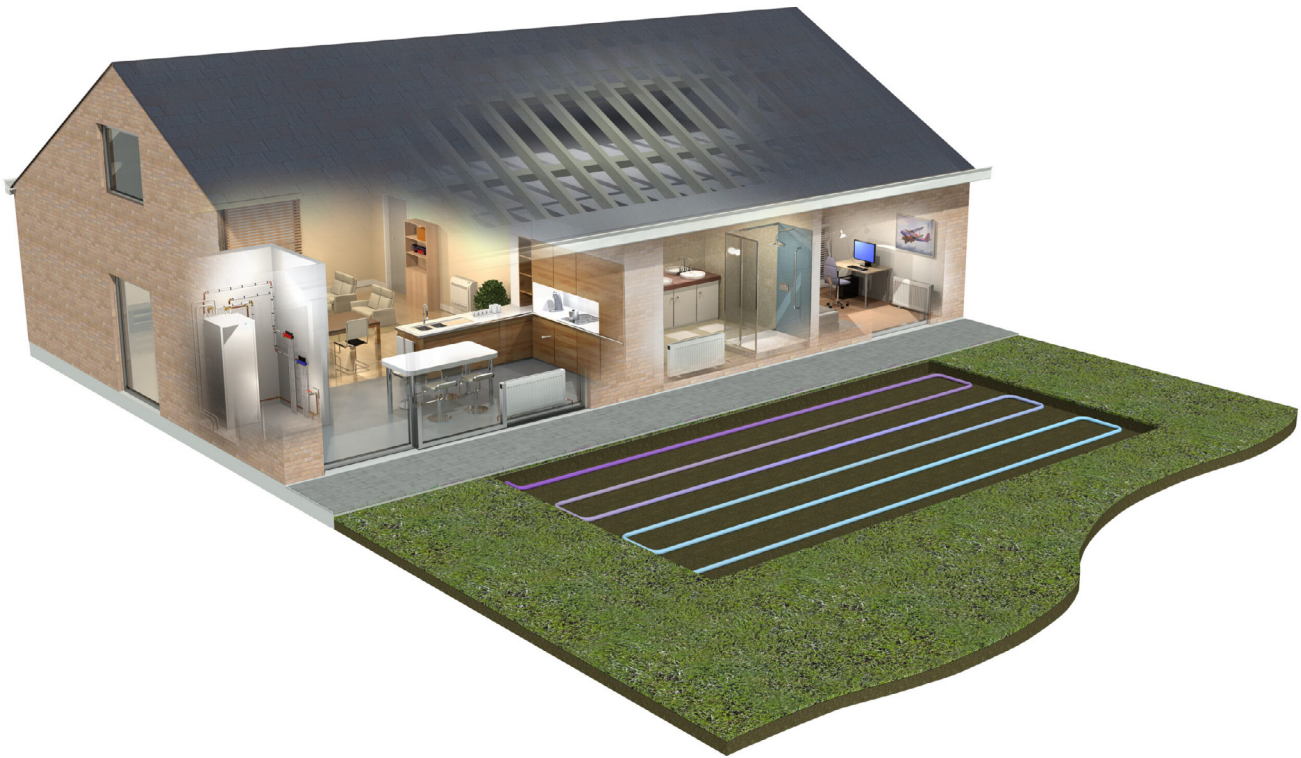
- Kan ook sanitair warm tapwater produceren;
- Beperkte temperatuurschommelingen. De brontemperatuur (bodem) is stabielere dan de buitenluchttemperatuur. Hierdoor is het rendement stabielere bij verschillende (water)temperaturen. Beperkt lager rendement dan verticale systemen;
- Bij een water/water warmtepomp is er mogelijkheid tot passieve koeling. Omdat de temperatuur van de bodem ook in de zomer laag is (zo'n 10°C), kan de warmtepomp als warmtewisselaar werken. Wanneer de warmtepomp in koelmodus draait, verbruikt de installatie dus relatief weinig elektriciteit;
- Langere levensduur dan lucht/water warmtepompen, gemiddeld tussen 15 en 20 jaar;
- Geen buitenunit noodzakelijk in de buitenlucht, akoestiek en geluidhinder spelen minder een rol.

Nadelen van een horizontale water/water warmtepomp

- Hogere initiële investering in vergelijking met andere warmtepompsystemen, maar lagere investering dan voor verticale systemen;
- Het terrein moet voldoende groot zijn. Eén lus beslaat een oppervlakte van ongeveer 9,0 m². Het aantal lussen is afhankelijk van het benodigde warmtevermogen. Bij de aanleg op het perceel moet rekening gehouden worden met verschillende obstakels. Zo mag een captatienet niet onder diepgewortelde begroeiing of vijvers aangelegd worden;
- Een bodemonderzoek is aan te raden voor een correcte dimensionering van de horizontale water/water warmtepomp;
- De realisatie van de bodemwarmtepomp is complexer dan bij een lucht/water warmtepomp:
 - Bij de uitvoering moet rekening gehouden worden met de bereikbaarheid van het terrein in verband met de boringen. Deze machines zijn vergelijkbaar met een grote graafmachine.
 - Bij het uitvoeren van de graafwerken ontstaan trillingen, wat tijdelijk een invloed kan hebben op omliggende bebouwing.



FIGUUR 41: Voorbeeld van een binnenunit/ doorsteek van de bodemlussen van een water/water warmtepomp - © VITO



FIGUUR 42: Voorbeeld van bodemlussen bij een horizontaal captatienet of water/water warmtepomp⁵⁰.

1.11 HYBRIDE WARMTEPOMPEN (TIJDELIJKE OPLOSSING)

1.11.1 WERKINGSPRINCIPE

Een hybride warmtepomp bestaat uit een combinatie van een warmtepomp met een verbrandingsketel (bv. gasketel of stookolieketel). Op momenten dat de warmtepomp niet meer voldoende warmte kan leveren (bv. bij een lage buitentemperatuur), zal de verbrandingsketel het ontbrekende vermogen aanvullen.

Warmtepompen hebben een beperkte afgiftetemperatuur. Het rendement van sommige warmtepompen neemt ook af bij lage buitentemperaturen. Hierdoor kunnen warmtepompen hogere warmtevraagpieken niet efficiënt invullen. Het vereiste vermogen is onder andere afhankelijk van de isolatiekwaliteit en het type ventilatiesysteem van het gebouw. De beslissingsboom kan duidelijkheid brengen in welke situaties een warmtepomp niet zomaar toepasbaar is. Het raadplegen van een expert is in die gevallen aangewezen. Op basis van een gedetailleerde warmteverliesberekening kan worden bepaald of een warmtepomp (of combinatie van meerdere warmtepompen!) het nodige vermogen kunnen opleveren. Indien dit niet mogelijk is, of economisch oninteressant, zijn andere oplossingen nodig.

Wanneer de warmtevraag van een gebouw hoog is moet een hoog temperatuursysteem gebruikt worden om het gebouw op temperatuur te houden (> 55°-70°C). Warmtepompen kunnen met de huidige techniek water tot ongeveer 70°C leveren. Bij hogere temperaturen daalt het rendement snel. Verbrandingsketels zoals gasketels en biomassaketels kunnen hogere temperaturen leveren.


Wanneer men het verbruik van fossiele brandstoffen maximaal wenst te beperken maar de energieprestatie van de woning te laag is, kan gekozen worden voor een hybride opstelling. Bij een hybride systeem schakelt het systeem de warmtepomp of de verbrandingsketel in afhankelijk van de warmtevraag. Wanneer de energievraag laag is, bijvoorbeeld bij mildere buitentemperaturen, schakelt de warmtepomp eerst in om het gebouw te voorzien van warmte. Bij piekbelasting, bijvoorbeeld bij vorst, springt de verbrandingsketel bij om het gebouw met een hoger vermogen te verwarmen. Bij correcte dimensionering neemt de warmtepomp het merendeel van de verwarmingsenergie voor zijn rekening. Alleen wanneer noodzakelijk springt de verbrandingsketel bij.


Een hybride systeem kan net als een warmtepomp en een verbrandingsketel een woning voorzien van sanitair warm tapwater. Afhankelijk van de warmtevraag betreft dit een geïntegreerde voorziening of een los voorraadvat.

1.11.2 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

Afhankelijk van welk type warmtepomp wordt toegepast in de hybride opstelling, moet diens respectievelijke impact in overweging worden genomen. Wat volgt in de onderstaande tabel slaat enkel op de **bijkomende impact** omwille van de hybride opstelling.

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Leidingen en kanalen	Een hybride warmtepompstelling vereist een rookgasafvoer. Dit zijn pijpen die verticaal naar buiten gebracht moeten worden. Er zijn specifieke eisen waaraan de rookgasafvoer moet voldoen in verband met de verdunningsfactor. Een installateur kan hierover de nodige informatie verschaffen.	Indien aanwezig kunnen bestaande schouwen benut worden om de rookgasafvoer te leiden.

 IMPACT OP HET INTERIEUR		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie binnenunit	De opstelruimte van het hybride systeem moet worden bestemd als stookruimte . Dit houdt in dat de ruimte moet voldoen aan specifieke eisen voor bijvoorbeeld ventilatie.	
Leidingen en kanalen	Rookgasafvoer moet worden voorzien van de stookruimte tot buiten. Indien er hoogteverschillen zijn tussen de binnenunit en de bodemplussen kunnen schachten noodzakelijk zijn.	Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen benut worden om de rookgasafvoer te leiden.

 IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE

 ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)	
ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement voor verwarmen en koelen is beperkt weersafhankelijk . Hybride systemen kunnen ook worden toegepast als de warmtevraag hoog is.
Sanitair warm tapwater	Een hybride warmtepomp kan sanitair warm tapwater bereiden. Een tweede systeem is daarom niet altijd nodig.
Uitbreiding meterkast	Voor de aanleg van een hybride warmtepomp wordt een eigen zekering aanbevolen in de meterkast.
Gasaansluiting	Een hybride systeem met gasketel vereist een gasaansluiting en gasmeter.

1.11.3 VOOR- EN NADELEN

Voordelen van hybride warmtepompen:

- Een hybride warmtepomp kan hogere temperaturen leveren, wat van pas komt wanneer de warmtevraag te hoog is voor het toepassen van een laagtemperatuur warmtepomp, bijvoorbeeld in het geval waar weinig isolatie kan geplaatst worden.

Nadelen van hybride warmtepompen:

- Bij een hybride warmtepomp moeten er aanvullende voorzieningen getroffen worden voor de aansluiting, plaatsing en onderhoud van een verbrandingsketel;
- Tegen 2050 moeten gebouwen netto koolstofvrij zijn. Fossiele brandstoffen zullen dan in belangrijke mate moeten worden beperkt of vermeden. Bij een hybride oplossing moet in acht genomen worden dat verbrandingsketels op termijn uitgefaseerd gaan worden. Wanneer dit gebeurt moet alsnog rekening gehouden worden met een overschakeling naar een ander systeem.

1.12 GASABSORPTIEWARMTEPOMP (TIJDELIJKE OPLOSSING)

Daarnaast bestaan er ook gasabsorptiewarmtepompen. Bij een gasabsorptiewarmtepomp wordt de compressor niet aangestuurd met elektriciteit maar met (aard)gas. Dit is dus een tijdelijke oplossing. In het kader van deze studie wordt dit type warmtepomp niet verder uitgediept, aangezien deze studie de nadruk legt op het reduceren van de koolstofimpact van erfgoedwoningen. Met de hedendaagse technieken zijn er verschillende alternatieve systemen beschikbaar.

1.13 WARMTEPOMPEN - SAMENVATTING

Bovenstaande beschrijvingen van warmtepompen zijn hieronder samengevat in een tabel. Mintekens geven aan dat het systeem relatief slechter scoort dan andere systemen. Plustekens geven aan dat het systeem relatief beter scoort dan andere systemen.

	LUCHT/ LUCHT	LUCHT/ WATER SPLIT	LUCHT/ WATER MONOBLOCK	WATER/WATER VERTICALE BODEMLUSSEN	WATER/ WATER HORIZONTALE BODEMLUSSEN	HYBRIDE WARMTEPOMP
KOSTEN						
Beperking van de investeringskosten	+	o	o	- -	-	o
Energieverbruik en -kosten	-	o	o	+ +	+	o/-
RENDEMENT SYSTEEM						
Productlabel	G-A+++	A-A+++	A-A+++	A-A+++	A-A+++	bronaafhankelijk
sCOP* (typisch)	2,80 – 3,50	2,90 – 3,70	2,90 – 4,50	5,6 – 6,30	4,50 – 5,30	bronaafhankelijk
SEER* (typisch)	3,80 – 5,00	3,50 – 4,20	3,70 – 4,20	passieve koeling	passieve koeling	bronaafhankelijk
Impact afwijkende brontemperatuur *	o	o	o	+ +	+	bronaafhankelijk
Productie van warm tapwater	Nee	Ja				

Temperatuurregime verwarmen	n.v.t.	Tot 55°C				+ 55°C
Maximale beschikbare watertemperatuur (specifieke types)	n.v.t.	75°C	75°C	75°C	75°C	80°C
RUIMTEBESLAG						
Ruimtebeslag binnenunit	+	-	o	-	-	-
Ruimtebeslag buitenunit	o	o	-	-- Ca. 7m x 7m per boorput	--- Ca. 9 m ² per gesloten bodemlus.	o
ONTWIKKELINGSTRAJECT, REALISATIE EN LEVENSDUUR						
Ontwikkelingstraject	+	o	o	--	--	o
Uitvoering en realisatie	+	o	o	--	--	o
Levensduur	10 jaar	10-15 jaar	10-15 jaar	15-20 jaar binnenunit 25-30 jaar boorputten	15-20 jaar binnenunit 25-30 jaar bodemlussen	10-15 jaar
OVERIGE						
Geluidproductie buitenunit dB(a)	59-73	49-73	53-77	49-53	42-57	bronafhankelijk
Geluidproductie binnenunit dB(a)	48-65	30-55	30-55	n.v.t.	n.v.t.	
Gasaansluiting en voorzieningen	Nee					Ja

* Opgegeven COP-waarde zijn indicatieve waarde op basis van de seizoen gemiddelde waarde. Het rendement neemt af bij afwijkende brontemperaturen. Vooral bij lucht/lucht en lucht/water warmtepompen neemt het rendement af bij afwijkende brontemperaturen.

** Zie <https://www.infowarmtepomp.be/nl/home/meest-gestelde-vragen-over-warmtepompen/heb-ik-een-vergunning-nodig-vlaanderen/>

KOELMIDDEL		GWP (KG.CO ₂)
SYNTHETISCH		
	CFK-koelmiddelen	3 200 – 10 900
	HCFK-koelmiddelen	1 500 – 1 900
	HFK-koelmiddelen	1 200 – 1 430
	F-gassen	2 000 – 3 700
NATUURLIJK		
	R744 (CO ₂)	1,0
	R717 (ammoniak)	0,0
	R290 (propan)	3,0
	R600a (isobutaan)	3,0
	R718 (water)	0,0

	LUCHT/ LUCHT	LUCHT/ WATER SPLIT	LUCHT/WATER MONOBLOCK	BODEM/WATER VERTICALE BODEMLUSSEN	BRINE /WATER HORIZONTALE BODEMLUSSEN	HYBRIDE WARMTEPOMP
Hoeveelheid koelmiddel (circulatie) (kg)	0,6 – 3,5 kg per warmtepomp.					

1.14 ZONNESYSTEMEN

1.14.1 BASISPRINCIPES

Technisch gezien kan er een onderscheid gemaakt worden tussen thermische systemen die warmte (zonnecollectoren) opwekken en elektrische systemen die stroom (fotovoltaïsche zonnepanelen of PV-panelen) opwekken. PVT-systemen combineren beide principes in één systeem.

1.14.1.1 FOTOVOLTAÏSCHE ZONNEPANELEN

Werkingsprincipe

Een zonnepaneleninstallatie bestaat uit twee componenten:

- de fotovoltaïsche cellen (buitendeel);
- een omvormer.

De fotovoltaïsche cellen wekken elektriciteit op door lichtdeeltjes te absorberen uit bezonning. Dit proces heet het fotovoltaïsch effect. Bij dit effect maken zonnestrallen elektronen los, uit bijvoorbeeld het materiaal gedopeerd silicium. Hierdoor ontstaat een negatieve lading die vervolgens een elektrische spanning veroorzaakt en een elektrische stroom opwekt.

De elektriciteit die geproduceerd wordt is niet direct bruikbaar omdat het gelijkstroom is. De omvormer dient om de gelijkstroom om te zetten naar wisselstroom. Via de omvormer wordt de wisselstroom geleverd aan de meterkast, vanwaar de stroom verder verdeeld wordt binnen het gebouw of teruggestuurd wordt naar het elektriciteitsnet.

Classificatie op basis van type fotovoltaïsche cel

Op de markt kan er een onderscheid gemaakt worden tussen drie types zonnepanelen, die verschillen in wat betreft rendement, prijs en toepassingsgebied:

- Monokristallijn;
- Polykristallijn;
- Amorf.

Kristallijne panelen, monokristallijn of polykristallijn, zijn vaak herkenbaar doordat deze zijn opgebouwd uit meerdere kleine (max. 15 cm x 15 cm), vaak blauw of zwart gekleurde cellen. PV-panelen kunnen voorzien worden van een kleur, dit heeft echter een (negatief) effect op het rendement.

Amorfe panelen bestaan uit grotere aaneengesloten oppervlakten, zijn vaak egaal gekleurd (veelal nog zwart) en kunnen buigzaam zijn. De cellen hebben momenteel een lager rendement dan de andere types panelen. Voor deze panelen is daarom een grotere oppervlakte noodzakelijk in vergelijking met de kristallijnpanelen. Amorfe panelen kunnen daarentegen geïntegreerd worden in gebouwelementen zoals bijvoorbeeld dakpannen, ramen of gevelelementen.



Monokristallijn paneel



Polykristallijn paneel

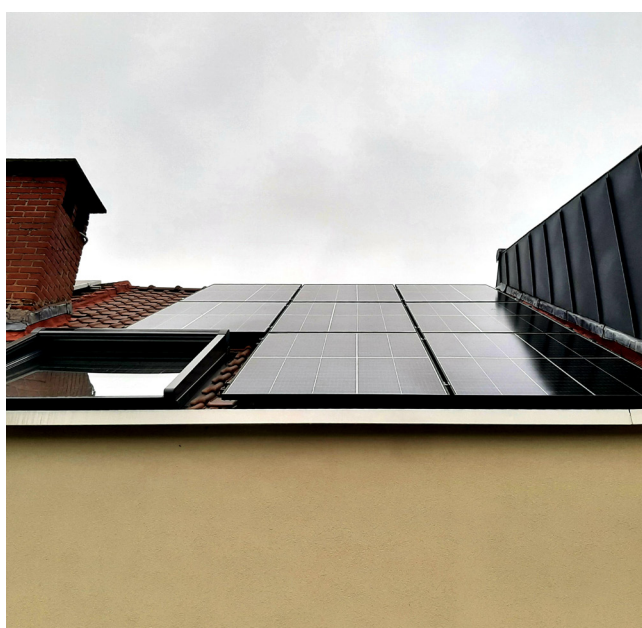


Amorf paneel

FIGUUR 43: drie types fotovoltaïsche zonnepanelen



FIGUUR 44: PV-panelen op dakvlak aan de tuinzijde van een geïnventariseerd herenhuis in Diest, met beperkte zichtbaarheid vanuit de tuin (erfgoedenergieloket projectfiche 4)



FIGUUR 45: polykristallijne panelen op woning in Zurenborg - ©Dieter Daniels, Rooilijn Architectuur

Classificatie op basis van integratie

Zonnepanelen kunnen daarnaast worden opgedeeld op basis van de manier waarop zij verbonden zijn aan het gebouw:

- **Building-Applied PhotoVoltaics (BAPV):** hierbij worden PV-modules geplaatst bovenop of tegen afgewerkte gebouwelementen aan met behulp van een stellage. Dit is de methode die wordt gebruikt voor conventionele PV-oplossingen
- **Building-Integrated PhotoVoltaics (BIPV):** conventionele bouwelementen worden vervangen door materialen die zonnemodules bevatten. Dit biedt de dubbele functie van energieproductie en architecturaal element.

Zonnepanelen kunnen ook 'vrijstaand' geplaatst worden (niet op of tegen een gebouw), indien er ruimte is op het perceel.

Een voorbeeld van BIPV betreft de zogenaamde zonneleien zoals ook toegepast in de case in Figuur 46. In sommige specifieke gevallen wanneer de dakbedekking einde levensduur is, zijn zonneleien een valabele optie. In vergelijking met zonnepanelen in opbouw is dit dan een subtielere oplossing.



FIGUUR 46: Voorbeeld van zonneleien op de beschermde Villa Berteloot in het miljoenenkwartier in Gent. © Onroerend erfgoed

Type omvormer

Qua omvormers kan een onderscheid gemaakt worden tussen

- een centrale omvormer per installatie;
- een micro-omvormer per zonnepaneel.

Bij een centrale omvormer zijn meerdere zonnepanelen gekoppeld aan één omvormer. In de praktijk zijn centrale omvormers goedkoper dan micro-omvormers. Centrale omvormers hebben een begrensd vermogen. Indien uitbreiding van de zonnepaneleninstallatie plaatsvindt kan het zijn dat de bestaande omvormer te klein is. Vervangen van de omvormer door een exemplaar met een hoger vermogen of het bijplaatsen van een tweede omvormer is dan noodzakelijk. In een residentiële context in België is het vermogen van de omvormer typisch kleiner dan 10 kVA.

Bij een micro-omvormer vindt het omzetten van gelijkstroom naar wisselstroom plaats achter het paneel zelf. Praktisch gezien is binnen geen opstelruimte noodzakelijk voor de omvormer. Uitbreiding kan hierdoor gemakkelijker plaatsvinden.



FIGUUR 47: Voorbeeld van een centrale omvormer (bovenaan) en batterij (onderaan), woning in Zurenborg – ©Dieter Daniels, Rooilijn Architectuur



FIGUUR 48: voorbeeld van een Micro omvormer (witte plaatjes) voor plaatsing panelen © sunshine renewable Solutions

Dimensionering van een fotovoltaïsch zonnestelsel

Tot voor kort werd een fotovoltaïsch zonnestelsel gedimensioneerd op basis van de elektriciteitsvraag van het gebouw en de bewoners. In het huidige energielandschap wordt echter vaker gekeken naar het benutten van het volledige potentieel van een PV-installatie. Een particuliere installatie gaat doorgaans tot 10 kVA, aangezien de grotere vermogens in een ander wettelijk kader vallen.

Het opmaken van een schaduwplan brengt elementen in kaart die schaduw kunnen werpen op de zonnepanelen. Denk hierbij aan dakkapellen, schoorstenen, naburige bomen en gebouwen. Installaties die schaduwgevoelig zijn, kunnen worden voorzien van een parallelschakeling, waardoor beperkte bezonning van enkele panelen geen impact heeft op de volledige installatie. Laat de installateur in dat geval een gepast voorstel doen.

1.14.1.2 ZONNECOLLECTOREN

Werkingsprincipe

Een zonnecollectorinstallatie zet zonne-energie om in warmte. Het systeem bestaat veelal uit drie componenten: de collectorpanelen of warmtepijpbuizen die de warmte van de zon opvangen, het voorraadvat waarin de warmte wordt afgegeven en een bijstookinstallatie om de watertemperatuur op de vereiste temperatuur te brengen.

Net als bij een fotovoltaïsche zonnepaneleninstallatie bevinden de collectoren zich op het dak of op een naastgelegen terrein. De collectoren vangen de warmte van de zon op en geven deze af aan een achterliggend distributiesysteem.

Gebruikelijke technologieën

Op basis van de gebruikte technologie kan onderscheid gemaakt worden tussen twee type collectoren:

- de warmtepijp of vacuümbuis;
- het (beglaasde) zonnecollectorpaneel.

Bij de beglaasde zonnecollector panelen lopen waterleidingen achter een beglaasd oppervlakte. Doordat het zonlicht op het beglaasde oppervlakte valt warmen de achterliggende waterleidingen op.

Bij een warmtepijp lopen de waterleidingen in een glazen, (vacuümgetrokken) buis. Het voordeel van de warmtepijp is dat het gemiddeld gezien een hoger rendement heeft: het is in staat tot ongeveer 25-30% meer warmte op te nemen dan een zonnecollectorpaneel. Daartegen is de warmtepijpcollector duurder en kan deze, gezien zijn vorm, lastiger geïntegreerd worden op een dakvlak. Een draagstelling kan niet uitgesloten worden bij een warmtepijp.

Dimensionering van een thermisch zonnesysteem

Een te laag aantal collectoren kan betekenen dat het gewenste aandeel van de collectoren in de warmwaterproductie niet behaald wordt. Een groter aantal collectoren draagt daarentegen niet noodzakelijk bij aan een hoger rendement. De kosten voor de bijkomende collectoren dragen dus niet meer bij aan een noemenswaardige toename van de warmteproductie. Laat je bij de dimensionering van het systeem daarom bijstaan door een expert, die de warmwatervraag mee in rekening zal nemen. ⁵¹



FIGUUR 49: Zonnecollector (linksboven) © Ebt.ca. op een zuidgericht dakdeel van Huis van Boisschot, uit het zicht vanop de straat (erfgoedenergieloket projectfiche 1)

Vorraadvat en bijstookinstallatie

De warmte van de zonnecollectoren wordt afgegeven aan een voorraadvat. Het doel van het voorraadvat is om de warmte te bufferen voordat deze gebruikt kan worden voor de bereiding van sanitair warm tapwater of ruimteverwarming.

Daarnaast is een zonnecollector voorzien van een naverwarmer of bijstookinstallatie. De warmteproductie van een zonnecollector is afhankelijk van het weer en het seizoen. Het systeem wordt zo ontworpen dat in zonnige omstandigheden de warmte van de zonnecollectoren volstaat om de naverwarming overbodig te maken. In de praktijk kunnen fabrikanten zonnecollectoren als één systeem aanbieden waarbij alle componenten op elkaar afgestemd zijn. Hierbij wordt ook een het aantal collectorenpanelen zodanig bepaald dat er een optimale warmteproductie is in combinatie met de bijstookinstallatie.



Wanneer de warmteproductie van het thermische zonnestelsel te laag is kan de resulterende warmte niet altijd direct bruikbaar zijn voor ruimteverwarming of de bereiding van sanitair warm tapwater. Zowel in deze situatie, als ter voorkoming van legionella, is bijstook noodzakelijk. Het warm water moet namelijk een tijdje opgewarmd worden tot 60 à 70 °C. Deze bijstook kan bestaan uit een warmtepomp of een elektrische weerstand.



FIGUUR 50: Binnendeel van een zonnecollectorinstallatie met voorraadvat (links onder) en losse bijstook (gasketel, rechts centraal) - © VITO

1.14.1.3 PVT-PANELEN

Werkingsprincipe

Een systeem met thermische en fotovoltaïsche panelen (PVT-systeem) is een zonnestelsel dat zowel warmte als stroom opwekt op basis van zoninstraling. PVT-panelen worden ook hybride panelen genoemd. Bij een PVT-systeem is het zonnepaneel aan de achterzijde ook voorzien van een warmtewisselaar die een distributiesysteem voorziet van warmte. Deze warmte kan voor warm tapwaterbereiding of verwarming gebruikt worden.

Er zijn daarnaast ook systemen die gekoppeld kunnen worden aan water/water warmtepompen. Zij staan al dan niet in parallel met een geothermische bron. Met name bij een grote asymmetrische vraag (grote warmtevraag, beperkte koelvraag) kan een PVT-systeem de bron (die door de onbalans stelselmatig zou afkoelen) tijdens zonnige maanden opnieuw aanvullen.

In aanvulling op de PVT-panelen is een PVT-systeem ook voorzien van een voorraadvat, een bijstookinstallatie en een omvormer. Een PVT-paneel is te herkennen omdat er zowel distributieleidingen als bedradingen vanaf het paneel komen.



In combinatie met een water/water warmtepomp bieden PVT-panelen een mogelijk interessante oplossing voor zones waar bijkomende akoestische belasting van de omgeving niet gewenst is en waar geothermische warmte moeilijk te benutten is. Deze piste wordt momenteel nog bekeken in verschillende onderzoekstrajecten.

Invloed van type schakeling

Wanneer er sprake is van veel belemmeringen kan een onderscheid gemaakt worden tussen een serieschakeling of een parallelschakeling van de zonnepanelen:

- Wanneer belemmeringen een PV-paneel beïnvloeden wordt in een serieschakeling het rendement van het volledige systeem binnen de serie lager.
- Bij een parallelschakeling zijn alle panelen individueel gekoppeld aan het circuit. Hierdoor beïnvloedt het rendement van de panelen elkaar niet. Een parallelschakeling is duurder is dan een serieschakeling.



Het wattpiekvermogen geeft aan hoeveel stroom er door één zonnepaneel opgewekt kan worden onder ideale omstandigheden. Het wattpiekvermogen is bepaald bij een zuidelijke oriëntatie, een hellingshoek van 35 graden en géén belemmeringen.

Naast de algemene factoren die van invloed zijn op het rendement zijn er ook voor de individuele type systemen randvoorwaarden die in acht genomen moeten worden.

1.14.2.2 RENDEMENT ZONNEPANELEN

Wattpiekvermogen

Bij een zonnepaneleninstallatie wordt het rendement bepaald enerzijds door de eigenschappen van het paneel zelf en anderzijds door omgevingsfactoren.

Op productniveau wordt het rendement voornamelijk bepaald door het wattpiekvermogen per paneel (Wp/paneel). Op de markt kunnen zonnepanelen een wattpiekvermogen hebben van ruim 350 tot 410 Wp/paneel. Door de marktontwikkelingen worden zonnepanelen echter steeds efficiënter, het maximale wattpiekvermogen van zonnepanelen zal in de toekomst vermoedelijk nog hoger liggen.

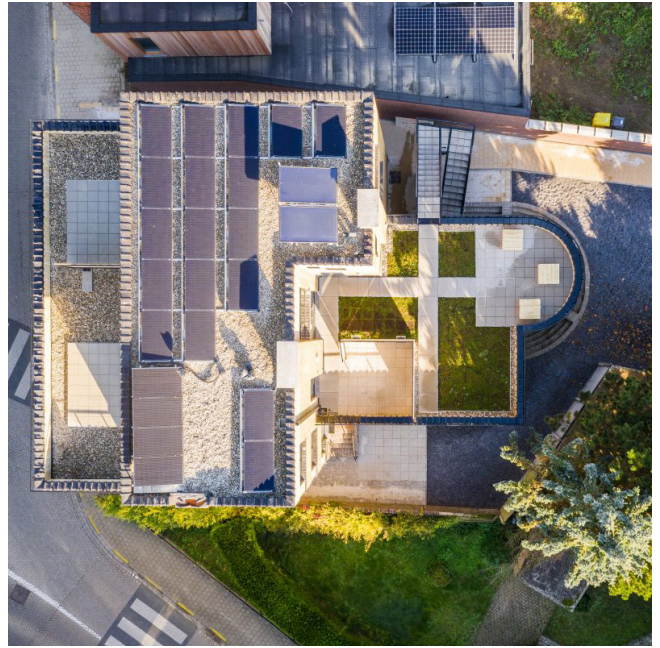
Wattpiekvermogen relatief aan de afmetingen van het paneel.

In aanvulling van het wattpiekvermogen per paneel dient rekening gehouden te worden met het wattpiekvermogen per vierkante meter (Wp/m²). Zonnepanelen kunnen in verschillende afmetingen voorkomen. Kristallijnpanelen hebben bijvoorbeeld afmeting van 1,60 m² tot 2,00 m². Amorfe panelen daarentegen kunnen in een groter scala aan afmetingen voorkomen.

Bij de keuze van een zonnepaneleninstallatie is het daarom belangrijk ook het wattpiekvermogen per vierkante meter (Wp/m²) in rekening te brengen. Een hoger wattpiekvermogen per vierkante meter betekent dat het rendement, relatief aan de afmetingen, beter is. Op de markt kan het wattpiekvermogen variëren van 150 Wp/m² (amorf) tot 250 Wp/m² (hoogwaardige polykristallijne panelen).

Gebouwintegratie

Tot slot speelt ook de gebouwintegratie een belangrijk rol in het rendement van een zonnepaneel. Het fotonvoltaïsch effect (waarbij lichtdeeltjes van de zon worden omgezet in elektriciteit) is een temperatuurafhankelijk proces. Hogere temperaturen verlagen het effect. Om dit proces tegen te gaan kan natuurlijke ventilatie bijdragen aan het koelen van de zonnepanelen. Gebouwintegratie is hierbij belangrijk. Bij zonnepanelen op een stellage kan natuurlijke ventilatie de panelen beter koelen dan bij een installatie die volledig geïntegreerd is in een dakvlak. Op jaarbasis kan dit een verschil maken van ongeveer 3-5% in de energieproductie⁵².



FIGUUR 52 en Figuur 53: Panelen met een stellage voor verbeterde natuurlijke ventilatie op de voormalige modernistische dokterswoning 'Huis van Bockstal' in Vorselaar Figuur 54: Voorgevel 'Huis van Bockstal' © LivinArchitecten



FIGUUR 55: Slecht voorbeeld van panelen geplaatst met beperkte tot geen natuurlijke ventilatie - © vrt0



1.14.2.3 RENDEMENT ZONNECOLLECTOREN

Bij een zonnecollectorinstallatie wordt het rendement bepaald door verschillende factoren. Het rendement kan geanalyseerd worden op collectorniveau, op niveau van het voorraadvat en op niveau van systeem als een geheel. Net als bij de zonnepanelen wordt het rendement bepaald bij gemiddelde weersverwachtingen en in ideale testomstandigheden.

De collector wordt voornamelijk beoordeeld op het opwekkingsrendement (%) en de oppervlakte. Het rendement geeft aan hoe efficiënt de collector zonnewarmte kan omzetten naar nuttige warmte. De rendementen kunnen variëren van 55% tot 90%.

Vorraadvat

Het voorraadvat van de zonnecollector wordt apart beoordeeld. Hiervoor is een energie-efficiency klasse beschikbaar welke uitgedrukt is in een label. Een laag label (bijvoorbeeld E) geeft aan dat het vat veel warmte verliest en gebruik maakt van inefficiënte circulatiepompen. Een hoog label geeft aan dat het vat voorzien is van goede isolatie.

De isolatiegraad zelf wordt uitgedrukt in de warmteverliezen van het voorraadvat (W/m.K). Des te hoger de warmteverliezen, des te slechter de isolatie van het voorraadvat. Vaak wordt ook het energieverbruik per dag weergegeven (kWh/24h). Ook hier geldt: hoe hoger de waarde: hoe slechter de prestatie van het voorraadvat.

Collectorsysteem

Bij een collectorsysteem als geheel wordt het rendement meestal uitgedrukt aan de hand van verschillende warmteprofielen, weergegeven als M, L, XL of XXL-profielen. De profielen stellen verschillende scenario's aan warmtevraag voor, gaande van een lage (M) tot een zeer hoge vraag (XXL). Het is daarom belangrijk dat er een correct profiel wordt gekozen voor het ontwerp van de installatie.

Bij het profiel wordt vermeld hoeveel energie er alsnog bijgestookt moet worden om aan het vraagprofiel te voldoen. De bijstook wordt veelal uitgedrukt in kWh/jaar. Een installateur kan deze omrekenen naar een hoeveelheid gas, stookolie of de bijdrage van de warmtepomp. Hoe lager de vermelde energiebehoefte is, hoe lager is het aandeel uit bijkomende energiebronnen.

Omdat een zonnecollector zich alleen richt op het leveren van warmte is het temperatuurregime voornamelijk afhankelijk van de bijstookinstallatie. Een zonnecollector kan daarom gebruikt worden bij zowel lage temperatuursystemen als hoge temperatuursystemen.

Rendement van een volledig systeem

Soms wordt er geen kWh-waarde vermeld maar een rendement in procenten. Deze waarde staat los van de collector op zich maar geeft het rendement weer van het volledige systeem. Hierbij wordt gekeken naar de hoeveelheid warmte die duurzaam wordt geproduceerd in vergelijking met het energieverbruik van het systeem.

Een hoger rendement betekent dus dat er meer warmte duurzaam geproduceerd wordt in verhouding tot het elektriciteits- en gasverbruik van het systeem. Voor beschikbare systemen kan de opgegeven waarde variëren van 130 tot 225%. In de praktijk wordt de dekkingsgraad (het aandeel van de totale warmtevraag dat voorzien wordt door de zonnecollectoren) bepaald door de prestatie van de individuele componenten en de omgevingsfactoren. Met zonnecollectoren kan je jaarlijks gemiddeld 60% besparen op de energiekosten voor de productie van warm water. Dat is goed voor zo'n 15 tot 20% van je totale energiefactuur.

1.14.2.4 RENDEMENT PVT-SYSTEEM

Een PVT-systeem wordt veelal op dezelfde manier beoordeeld als zonnepanelen en zonnecollectoren. Voor het opwekken van stroom worden de PVT-panelen beoordeeld op het wattpiekvermogen per paneel of per m² paneeloppervlakte. Voor het warmtedeel zal voor een PVT-systeem ook een collectorrendement opgegeven worden.

1.14.2.5 ONDERHOUD EN LEVENSDUUR ZONNEPANELEN

Een zonnepaneleninstallatie vereist geen verplichte jaarlijkse onderhoudsbeurt maar bij voorkeur worden de zonnepanelen regelmatig gereinigd. Vervuiling, bijvoorbeeld door stof of uitwerpselen van dieren, kunnen het rendement verlagen of in sommige gevallen de zonnepanelen beschadigen.

Qua levensduur moet een zonnepaneleninstallatie opgedeeld worden in twee delen; de panelen zelf en de omvormer. Het rendement van zonnepanelen daalt licht met de tijd. Er wordt rekening gehouden met een levensduur van circa 20-25 jaar.

De levensduur van de omvormer is lager, deze zal éénmaal gedurende de totale levensduur van de zonnepanelen vervangen moeten worden.

1.14.2.6 ONDERHOUD EN LEVENSDUUR ZONNECOLLECTOREN

Een collector vereist een jaarlijkse onderhoudsbeurt. Hierbij moet onder andere de druk in het distributiesysteem en het glycolgehalte (antivries, brine) gecontroleerd worden. Omdat er bij een collector distributiesystemen buiten de schil lopen moeten deze vorstvrij gehouden worden, dit gebeurt veelal met antivriesmiddel. De bijstookinstallatie moet ook onderhouden worden volgens de geldende regelgeving.

De verwachte levensduur van de collector bedraagt 20-25 jaar. De levensduur van de collector staat los van de bijstookinstallatie.

1.14.2.7 ONDERHOUD EN LEVENSDUUR PVT

Het onderhoud van een PVT-systeem is vergelijkbaar met dat van een zonnepaneleninstallatie en een zonnecollectorinstallatie.

1.14.2.8 ZELFCONSUMPTIE EN GEBRUIK VAN THUISBATTERIJEN

Zonnepanelen en het rendement ervan zijn veelal afhankelijk van het aantal zonuren op jaarbasis. In de winter leveren zonnepanelen minder op, 's nachts leveren zonnepanelen helemaal niets op. Deze momenten staan haaks op de momenten waarop de energievraag in residentiële toepassingen het hoogst is. In de winter is de vraag voor verwarming en energie het grootst. Huishoudens zijn overdag buiten de deur en verbruiken veelal 's ochtends of 's avonds energie wanneer de zonnepanelen minder opleveren. Technisch gezien is er sprake van een mismatch tussen vraag en aanbod.

Thuisbatterijen en accu's van elektrische auto's kunnen deze mismatch gedeeltelijk verhelpen. De Vlaamse overheid heeft als doelstelling om batterijen te promoten vanaf 2025.

Thuisbatterijen komen voor in combinatie met zonnepanelen of met een PVT-systeem. Aan de zonnepanelen en de omvormer wordt een opslagbatterij toegevoegd tussen de meterkast en de omvormer. Via software wordt het laden en ontladen van de batterij aangestuurd. Bij overproductie van de zonnepanelen wordt de stroom in eerste instantie opgeslagen in de batterij. Wanneer de panelen niet actief zijn en er toch een elektriciteitsvraag is, dan wordt de elektriciteit eerst vanuit de accu geleverd. Praktisch gezien zijn bijvoorbeeld laadpalen in combinatie met elektrische voertuigen een vorm van een thuisbatterij.

Het rendement van de thuisbatterij wordt voornamelijk uitgedrukt in de hoeveelheid zelfconsumptie. Als onderdeel van de promotie van batterijen vanaf 2025 stelt de Vlaamse overheid dat het zelfverbruik van hernieuwbare energie met 28% tot 68% kan toenemen. Het exacte rendement is echter afhankelijk van onder andere het materiaalgebruik, het maximale opslagvermogen en de laadsnelheid. Ook het gebruikersgedrag is van zeer grote invloed: het zelfverbruik neemt toe wanneer de bewoners hun gebruik maximaal afstemmen op de elektriciteitsproductie van de fotovoltaïsche panelen. Een gebouwbeheersysteem kan hierin ondersteunen.

Bij de uitvoering van een batterij moet de gebruiker met de volgende punten rekening houden:

- Thuisbatterijen zijn markttechnisch gezien relatief nieuw. Hierdoor is de commerciële beschikbaarheid en de ervaring bij installateurs nog beperkt. Laat de installatie daarom uitvoeren door een erkende elektrotechnische installateur.
- Omdat de systemen relatief nieuw zijn, zijn de richtlijnen voor de installatie van huisbatterijen nog beperkt. Als onderdeel van de promotie wordt verwezen naar de technische voorschriften C10/11 samengesteld door Synergrid.

Thuisbatterijen hebben een levensverwachting van ongeveer 10-15 jaar.

1.14.2.9 NETINJECTIE & COLLECTIEVE PV-INSTALLATIES.


Een zonnepaneleninstallatie hoeft zich niet noodzakelijk tot het woningniveau te beperken. Er zijn gemeenschappelijke programma's waarbij meerdere huishoudens in combinatie met niet-residentiële gebouwen een collectieve installatie kunnen aanschaffen. Achter deze collectieve programma's is veelal een bedrijfsplan of contract samengesteld. Als projectmatig gebruik gemaakt wordt van een collectief programma is het noodzakelijk dat de betrokken partijen zich goed inlezen in de financiële randvoorwaarden.

1.14.3 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

		IMPACT OP DE BUITENSCHIL
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Integratie in dakvlak	Beleidslijn Agentschap Onroerend erfgoed stelt dat het plaatsen van zonnepanelen op daken van beschermd erfgoed vanaf heden altijd mogelijk is, maar er zijn enkele uitzonderingen. ⁵³	Amorfe en BIPV-zonnepanelen komen in verschillende maten en kleuren voor. Ze kunnen geïntegreerd worden op verschillende manieren (bijvoorbeeld in dakpannen, leien of op ramen). Amorfe en BIPV-panelen hebben relatief gezien een lager rendement dan kristallijne zonnepanelen met standaardafmetingen.
Positie installatie	Zonnepanelen en zonnecollectoren zijn afhankelijk van de zon. Elementen zoals dakkapellen en schoorstenen werpen schaduw en beperken de beschikbare plaats voor zonnepanelen.	Het opstellen van een schaduwplan kan worden overwogen wanneer gebouwelementen niet aangetast mogen worden. Dit kan bijvoorbeeld met sommige tekenprogramma's. Bij een locatie met veel belemmeringen door schaduw kan een parallelschakeling met micro omvormers gebruikt worden.
		Op platte daken <ul style="list-style-type: none"> - Houd voldoende afstand tot de dakrand. - Beperk de hellingshoek van de zonnepanelen tot max. 20°. - Plaats de panelen op hun lange zijde, zodat de hoogte beperkt is.
		Op hellende daken <ul style="list-style-type: none"> - Stem het materiaal en de kleur van de panelen af op de kleur en de textuur van de ondergrond. Zwarte en antracietkleurige panelen zijn courant op de markt. Ook rode panelen zitten bij sommige fabrikanten in het standaardassortiment. - Kies voor panelen die volledig egaal van kleur zijn, zonder aluminium randen en met een zo beperkt mogelijke reflectie. - Plaats de installatie zo laag mogelijk in het dakvlak, bij voorkeur volledig in de onderste dakhelft. Dit geldt niet voor een mansardedak. Plaats daar de panelen zo laag mogelijk op het bovenste deel van het mansardedak. - Plaats de panelen in dezelfde hellingshoek als het dakvlak. - Plaats de panelen in een aaneengesloten rechthoekig vlak, zonder verspringingen. - Bekijk welke compositie visueel het minst druk is, en houd rekening met andere elementen op het dak zoals dakkapellen of dakramen. Lijn de onderkant van de panelen uit met de onderkant van deze elementen of vermijd deze zone. - Plaats alle panelen in eenzelfde stand (op hun lange of korte zijde) en zorg ervoor dat alle panelen gelijk zijn (gelijk type, zelfde grootte).

Onderhoud dak	Zonnepanelen en zonnecollectoren hebben een impact op de toegankelijkheid van het dak, in het bijzonder voor onderhoudswerken.	Er wordt afstand gehouden van de randen van het dakvlak, de ladderhaken, aansluitingen met dakvlakken en dakopeningen. ⁵⁴
Bevestiging	In verband met de beveiliging (bijvoorbeeld windbelasting) dienen BIPV-panelen op een stellage bevestigd te worden.	Om de impact op het erfgoed te beperken en meteen ook het rendement te verhogen, ligt de stellage bij voorkeur verhoogd ten aanzien van het dakvlak, want dan is er natuurlijke ventilatie mogelijk om de PV-panelen te koelen.
	<p>Zonnepanelen op hellende daken kan je op verschillende manieren bevestigen. Bekijk met je aannemer welk systeem het minste impact heeft op jouw pand:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zonnepanelen gemonteerd op een metalen ondersteuningsconstructie, die op haar beurt met bevestigingshaken vast zit in het constructiehout (gordingen, kepers) - zonnepanelen rechtstreeks geplaatst met bevestigingshaken achter de panlatten 	<p>Met beide systemen rusten de bevestigingshaken op de dakbedekking (pannen of leien). Vooral bij een oudere dakbedekking kan dit tot schade leiden met lekkage als gevolg. Zorg daarom dat de pannen of leien tijdens de plaatsing van de zonnepanelen niet of zo weinig mogelijk beschadigd worden. Vervanging of herstel van de dakbedekking zal achteraf namelijk in vele gevallen niet mogelijk zijn zonder demontage van de panelen. Indien mogelijk kan je de pannen of de leien die in contact staan met de bevestigingshaken tijdens de plaatsing vervangen door nieuwe exemplaren. De oude exemplaren bewaar je om later te herleggen.</p> <p>Als je zonnepanelen wil plaatsen op een metalen dak (lood, koper, zink), dan gelden specifieke eisen aan de bevestigingsmiddelen van de bestaande bedekking om afglijden door het meergewicht van de installatie te vermijden. Aangezien het gaat om ingrijpende werken raden wij aan om de plaatsing pas uit te voeren als het dakmateriaal sowieso vervangen moet worden. Op dat moment kun je de aanpassingen die noodzakelijk zijn voor het plaatsen van zonnepanelen gemakkelijk combineren met de vervanging van het dakmateriaal.</p>
Positie doorvoeren	Zonnecollectoren hebben nood aan (minimaal) twee doorvoeren, die meestal door het dak gaan. Deze bestaan in verschillende uitvoering, en hebben ongeveer de grootte van een dakpan.	<p>De afstand tussen de collectoren en het doorvoerpunt dient beperkt te blijven om leidingwarmteverliezen te beperken. Bij het doorvoeren van de kabels naar binnen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - heb je aandacht voor de afwerking, zodat je geen lekken in je dak creëert. Leid de kabels eerst een stukje naar beneden en weer naar boven en dan pas naar binnen via een met lood afgewerkte doorgang of via bestaande monnikskappen. Water dat afloopt langs de kabels, druipt zo op het dak in plaats van naar binnen. - doorboor je geen goten of gootopstanden. <p>Enkele vuistregels voor het aanbrengen van kabels op gevels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Een neergaande kabel breng je aan op de gevelgrens en dit liefst verdoken. - Indien de kabel zichtbaar is, kan je deze de kleur van de achtergrond geven. - Een doorlopende horizontale kabel kan alleen indien er een lijst aanwezig is en leg je bij voorkeur bovenop die lijst. - Ophangbeugels bevestig je in de voegen.

<p>Afmetingen zonnensysteem</p>	<p>De minimale oppervlakte van zonnecollectoren is ongeveer 4-6 m² per installatie om effectief te kunnen werken. Fotovoltaïsche zonnepanelen kunnen flexibel ingepland worden, op basis van het beschikbare dakoppervlak.</p>	<p>De minimale oppervlakte van een fotovoltaïsche installatie is 15 tot 20 m² voor een gemiddeld gezin als deze wordt afgestemd op het eigen elektriciteitsverbruik. De plaatsing van een grotere installatie bereikt een interessantere terugverdientijd maar afweging lijkt interessant per case:</p> <ul style="list-style-type: none"> - eerder volledig dakvlak dan deel (omwille van uniformiteit) - positieve impact op koolstofuitstoot door plaatsing zonnepanelen (wanneer door omstandigheden enkel warmteopwekker op fossiele brandstof kan geplaatst worden) - op grotere gebouwen (bv kloosters, kastelen,...) niet nodeloos elk dakvlak vullen; het blijft tenslotte een gebouw
---------------------------------	---	---

 <p>IMPACT OP HET INTERIEUR</p>		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
<p>Afmetingen binneneenunit</p>	<p>De afmetingen van een omvormer voor een fotovoltaïsche zonnepanelen of een PVT-systeem zijn gemiddeld 50x50x20cm³ (HxBxD), de omvang van een kleine reiskoffer. Het plaatsen van een thuisbatterij (eventueel in combinatie met een beheersysteem) kan de zelfconsumptie verhogen. De afmetingen van een buffervat van 200 liter voor een zonnecollector zijn gemiddeld 100x60x60cm³ (HxBxD), de omvang van een kleine koelkast. Voor grotere opslagvolumes zijn grotere buffervaten nodig.</p>	<p>Micro-omvormers kunnen aangebracht worden aan de achterzijde van een PV-paneel waardoor er geen noodzaak is voor een centrale omvormer binnen. Micro-omvormers kosten meer dan een centrale omvormer.</p>
<p>Bijverwarming</p>	<p>Een zonnecollector moet voorzien zijn van een bijstookinstallatie, bijvoorbeeld een warmtepomp of een condenserende gasketel. Meer details over deze installaties zijn terug te vinden in de overeenkomstige componentfiches.</p>	<p>Hiervoor dient de nodige ruimte voorzien te worden (zie componentfiches van de andere systemen voor meer informatie).</p>
<p>Leidingen en kanalen</p>	<p>Zonnecollectoren zijn voorzien van leidingen die naar het buffervat moeten gaan. Hiervoor moet een schacht voorzien zijn wanneer de collectorleidingen moeten zakken naar lageregelegen verdiepingen.</p>	<p>Om leidingverliezen te vermijden, plaats je het binnendeel van een collectorsysteem bij voorkeur onder het dak. Beschermde monumenten bezitten vaak een waardevol interieur. Breng de kabels aan zodat ze geen of minimale fysieke en visuele impact hebben op het interieur:</p> <ul style="list-style-type: none"> - gebruik bestaande kokers of ongebruikte schouwtoevoeren - verleg het kabeltracé om waardevolle interieurelementen te vermijden (stucplafonds, lambriseringen, ...). - plaats de omvormer en thuisbatterij in ruimtes zonder of met beperkte erfgoedwaarde.
<p>Distributiesysteem</p>	<p>Een afleverset kan enkel via een watervoerend distributiesysteem verwarmen.</p>	<p>Bestaande radiatoren of vloerverwarming kunnen opnieuw gebruikt worden.</p>



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Opstelling installatie	Voor de elektrische leidingen is er geen noemenswaardige limiet qua afstand. Bij de thermische panelen geldt dat het beter is de afstand te beperken, om de leidingverliezen te reduceren.	Zonnepanelen mogen ook op minder waardevolle gebouwen op het perceel, zoals een garage, of op een buitenperceel geplaatst worden. Wanneer je dit doet, hou je er best rekening mee dat leidingverliezen beperkt blijven.



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement van zonnepanelen is weersafhankelijk en omgevingsafhankelijk . Zonnepanelen en zonnecollectoren zijn afhankelijk van de zon. Elementen zoals bomen en omliggende gebouwen werpen schaduw en beperken de beschikbare plaats voor zonnepanelen. Het opstellen van een schaduwplan kan worden overwogen wanneer gebouwelementen niet aangetast mogen worden. Dit kan bijvoorbeeld met sommige tekenprogramma's. Bij een locatie met veel belemmeringen door schaduw kan een parallelschakeling met micro omvormers gebruikt worden.
Impact op elektrisch net	Zonnepanelen hebben invloed op het elektriciteitsnet. Bij zeer grote PV-installaties kan het bestaande net ontoereikend zijn waardoor bestaande netvoorzieningen uitgebreid moeten worden.
Elektrisch en/of thermisch	Wanneer er zowel verduurzaamd dient te worden op gebied van verwarmen als elektriciteitsverbruik kan een PVT-systeem oplossingen bieden. PVT-systemen moeten echter voldoen aan de eisen van zowel een collector als een zonnepanelen systeem.
Vergunningsplicht	Voor het plaatsen van zonnepanelen, zowel op daken als in zijtuin en achtertuin, geldt er vergunningsplicht. Indien aan een aantal voorwaarden voldaan wordt, geldt een vrijstelling van de vergunningsplicht. De voorwaarden voor heel Vlaanderen vind je hier. Merk op dat elke gemeente bijkomende voorwaarden kan opleggen.
Premies	Bij het aanvragen van premies, zowel via Fluvius als via MijnVerbouwPremie, is het noodzakelijk dat de installatie geplaatst of gevalideerd werd door een gecertificeerd aannemer. Het RESCert-nummer van de aannemer moet worden doorgegeven. De lijst met erkende installateurs vind je hier .
Draagkracht dakconstructie	Bij het plaatsen van zonnepanelen of zonnecollector panelen komt er extra gewicht op het dak. Hoewel het gewicht beperkt is (tussen de 10 en 25kg/m ²) moet worden nagegaan of het dak het extra gewicht kan dragen. Houd daarbij rekening met het gewicht van het systeem zelf én met de bijkomende windbelasting. Een verhoogde windbelasting speelt vooral bij zonnepanelen op platte daken. Om het oplichten van de constructie door de wind te voorkomen, worden ballastblokken voorzien. Raadpleeg het afwegingskader dakconstructie. Consulteer hiervoor eventueel een stabiliteitsingenieur. Een overzicht van alle installateurs met een certificaat van bekwaamheid vind je op www.rescert.be .

Brandveiligheid	Zonnepanelen verhogen de kans op een blikseminslag op een gebouw niet. Er is wel een verhoogd risico op schroeischade aan historische materialen en constructies. Om die reden is het af te raden zonnepanelen te plaatsen op brandbare dakmaterialen zoals riet of houten shingles. Bij daken met een houten dakgebinte waarborg je een vrije ruimte van 20cm tussen de zonnepanelen en de dakbedekking. De kabeldoorvoeren werk je af met een brandweerstand van minimaal 60 minuten. De gelijkstroomkabel van de zonnepanelen tot aan de omvormer en de omvormer zelf houd je voor de brandveiligheid best buiten het gebouw. Indien de gelijkstroomkabel in het interieur loopt voorzie je een brandweerstand van 2 uur. Verder is het belangrijk dat alle dakdelen na de plaatsing van een installatie bereikbaar blijven voor de brandweer.
Asbest	Bij plaatsing van een zonnepanelen systeem op het dak moet nagegaan worden of er sprake is van asbest. Wanneer er sprake is van asbest moet deze verwijderd worden alvorens de zonnepanelen te plaatsen. Het is verboden zonnepanelen te plaatsen op een dak met asbest.
Sanitair warm tapwater	Een zonnecollector op zichzelf kan meestal onvoldoende warmte leveren gedurende het volledige jaar om een gebouw volledig zelfstandig te voorzien van verwarming en/of sanitair warm tapwater. Een bijstook installatie is noodzakelijk, bijvoorbeeld een (hybride) warmtepomp.
Uitbreiding meterkast	Zonnesystemen vereisen een eigen aansluiting in de meterkast. De eigenaar dient rekent te houden met een uitbreiding en/of modernisering van de meterkast

1.15 BIOMASSAKETELS (ONDER VOORWAARDEN)

1.15.1 BASISPRINCIPES

Een biomassaketel produceert warmte door het verbranden van biomassa. Deze biomassa kan bestaan uit GFT-afval, hout(producten) of houtpellets (samengeperste houtbrokken). Er is in Vlaanderen maar een beperkt aanbod aan biomassa. De voorkeur gaat uit naar het gebruiken van biomassa als materiaal in de circulaire economie en niet als brandstof.

In enkele welbepaalde contexten kan biomassa een duurzaam, lokaal alternatief bieden als brandstof. Denk hierbij aan grote landgoederen zoals kasteeldomeinen of hoevecomplexen waar biomassa een restproduct is van duurzaam groenbeheer. Lees hierover meer in de beoordelingscriteria van biomassaketels.

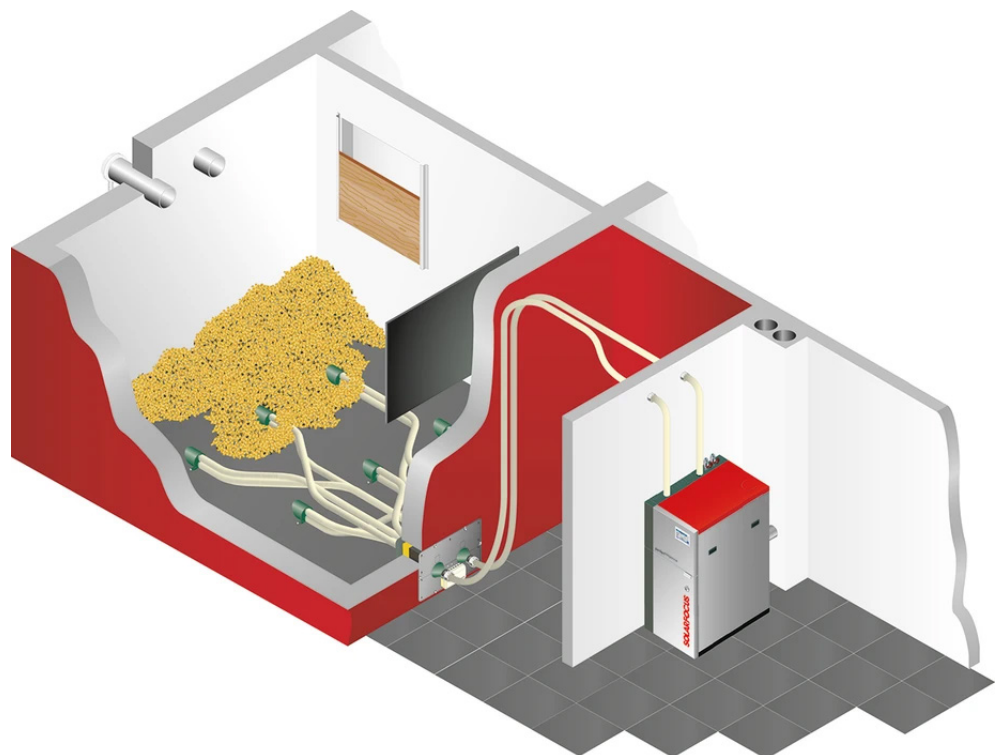
Een biomassaketel bestaat meestal uit twee onderdelen:

- de verbrandingsketel
- de opslag

Afhankelijk van de situatie kan een transportmedium noodzakelijk zijn die de biomassa van de opslag naar de verbrandingsketel brengt. Bij kleine systemen is dit een geïntegreerd onderdeel, bij grote systemen is dit een los onderdeel.

Bij een biomassaketel moet rekening worden gehouden met een lokale brandstofopslag. Dat in tegenstelling tot warmtepompen en gassystemen, waar elektriciteit of aardgas via een kabel of leiding de woning binnenkomen. De afmetingen van deze brandstofopslag moeten afgestemd worden op de afmetingen van de biomassaketel en het benodigde vermogen. In sommige gevallen moeten de biomassaketel en bijhorende opslagvoorziening handmatig gevuld worden (zie Figuur 56). Bij grote systemen wordt de biomassaketel automatisch gevuld, bijvoorbeeld met een transportband of zuiger (zie Figuur 57). De opslagruimte moet wel aangevuld worden, bijvoorbeeld met een vrachtwagen die nieuwe biomassa aanlevert.

FIGUUR 56: voorbeeld van een biomassaketel (links) met een opslagvoorziening (rechts) die handmatig gevuld moet worden. © VITO



FIGUUR 57: Voorbeeld van een biomassaketel (rechts) met een opslagvoorziening (links) die gevuld moet worden door een bijvoorbeeld een vrachtwagen, en een pellet aanzuigvoorziening (leiding in het midden) tussen de opslagvoorziening en de biomassaketel.⁵⁵



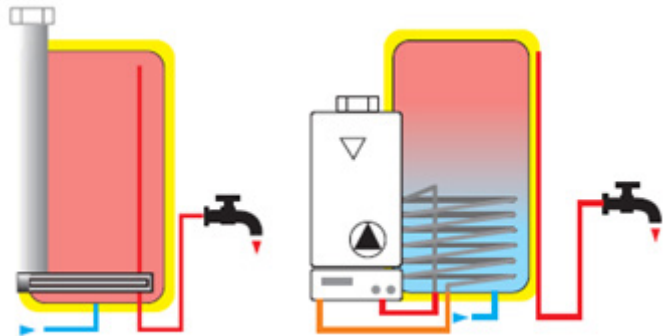
FIGUUR 58: Biomassaketel op de site Huysmanshoeve te Eeklo, boven links: de historische site ©Provincie Oost-Vlaanderen, boven rechts: integratie van de ketel op de site ©Architectura, onder links: de biomassaketel⁵⁶ onder rechts aanleverplaats biomassa © Zoom Architecten

Omdat een biomassaketel brandstof verbrandt, produceert deze ook rookgassen. De rookgassen moeten afgevoerd worden naar buiten via een rookgasafvoer. De resulterende warmte wordt vervolgens gebruikt voor het verwarmen van een woning of voor de bereiding van sanitair warm tapwater.

Bij een biomassaketel wordt er regelmatig gebruik gemaakt van een watervoerend distributiesysteem. Via een circulatiepomp wordt de warmte rondgepompt naar bijvoorbeeld radiatoren, warmtebatterijen, convectoren of oppervlakte verwarmingssystemen zoals vloerverwarming. Een thermostaat regelt wanneer de biomassaketel warmte moet leveren aan het distributiesysteem. Ook biomassakachels met lokale warmteafgifte en zonder distributiesysteem bestaan.

Afhankelijk van de sanitaire warm watervraag verschilt de uitvoering van een biomassaketel en het bijhorende opslagvat. Bij een lage sanitaire warm watervraag is het opslagvat voor sanitair warm tapwater direct geïntegreerd binnen de biomassaketel (direct gestookt voorraadvat of een doorstroomtoestel). Bij een hogere sanitaire warmwatervraag is een los voorraadvat noodzakelijk (indirect gestookte voorraadvat). Bij een los voorraadvat is een groter ruimteslag noodzakelijk.

FIGUUR 59: schematische weergave van een direct (links) en een indirect (rechts) gestookt opslagvat. © vito



1.15.2 TECHNISCHE BEOORDELINGSCRITERIA BIOMASSAKETEL

1.15.2.1 RENDEMENT WARMTE, BRANDSTOF EN LABELS

Vanuit Europa wordt getracht producten op een eenvormige manier te labelen. Op die manier kan een consument de verschillende producten en opstellingen objectiever vergelijken. In het geval van biomassaketels drukt het Product-label de energie-efficiëntieklasse van de ketel uit.

Milieu impact Biobrandstof

Het is niet evident om biobrandstof toe te passen voor de verwarming van een individuele woning. Er zijn namelijk belangrijke randvoorwaarden waaraan voldaan moet worden, wil deze technologie koolstofarm zijn.

De biomassa kan pas als duurzaam beschouwd worden als de biomassa:

- niet als materiaal kan dienen (bv, in de circulaire economie)
- van duurzame herkomst is
- de productie en inzameling niet ten koste gaat van natuurlijke ecosystemen
- de impact op het landgebruik beperkt is

De biobrandstof moet op een duurzame manier worden verzameld.⁵⁷ Duurzaam (en idealiter) lokaal bosbeheer kan een mogelijkheid zijn. Gezien de nodige hoeveelheid duurzame biomassa hiervoor in vele situaties niet beschikbaar is, zal dit veeleer een piste zijn voor **grotere domeinen** of **collectieve systemen**. De verwerking tot pellets van de biomassa gebeurt in dat geval ook beter lokaal, om onnodige CO₂-uitstoot door transport te vermijden.

Een biomassaketel stoot nog steeds rookgassen uit, zelfs wanneer de biobrandstof op duurzame wijze wordt gewonnen. Het wassen van deze gassen is efficiënter en economisch interessanter te organiseren in grootschalige installaties. Biomassaketels zijn daarom eerder aangewezen als bron van een (micro-)warmtenet voor meerdere woningen of een groter gebouwcomplex. De Vlaamse overheid promoot bovendien geen huishoudelijke verwarmingssystemen die hout verbranden omwille van de kostelijke en technisch complexe rookgasbehandeling die nodig is.

Om deze redenen beschouwen we deze technologie als **tijdelijke oplossing** en enkel toe te passen in welbepaalde gevallen.

Rendement Biomassa en brandstof

Bij biomassaketels worden het daadwerkelijke rendement en het brandstofverbruik onder meer bepaald door de homogeniteit van de gebruikte biomassa. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen industrieel verwerkte biomassa (houtpellets) en niet verwerkte biomassa (bijvoorbeeld snoeiafval). Verwerkte biomassa heeft veelal een hoger verbrandingsrendement dan niet verwerkte biomassa.

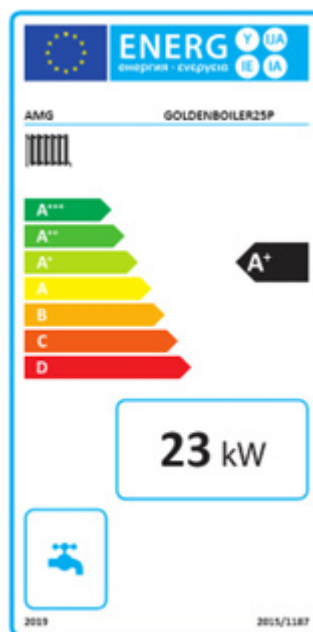
Bij niet verwerkte biomassa speelt het vochtgehalte een rol bij het verbrandingsrendement van het systeem. Bij de aanschaf van een biomassaketel wordt het rendement opgegeven door de fabrikant. Dit rendement is meestal berekend op basis van verwerkte biomassa.

Een biomassaketel kan warmte leveren tot een maximale aanvoertemperatuur van 90°C. Een biomassaketel kan ook op lagere temperatuurregimes afgestemd worden voor bijvoorbeeld vloerverwarming.

Productlabel

De energie-efficiëntieklasse op het productlabel wordt uitgedrukt in een vork van een energielabel G (zeer energieverslindend) tot en met een energielabel A+++ (zeer energiezuinig). Bij de beoordeling moet in acht genomen worden dat men bij het label vertrekt van droge houtproducten als brandstof.

Op een label zoals in Figuur 60 staat ook vermeld of de ketel geschikt is voor ruimteverwarming (icoon van radiator links bovenaan), de bereiding van sanitair warm tapwater (icoontje van kraantje links onderaan) of beide. De biomassaketel in dit voorbeeld, is dus geschikt voor ruimteverwarming en de bereiding van sanitair warm tapwater en heeft een label A+ met een maximaal vermogen van 23 kW.



FIGUUR 60: Voorbeeld van een label voor een biomassaketel geschikt voor zowel verwarming als de bereiding van sanitair warm tapwater.

1.15.2.2 ONDERHOUD EN LEVENSDUUR.

Bij de keuze van een biomassa installatie moet rekening gehouden met het volgende onderhoud:

- Nieuwe of gewijzigde installaties moeten voor ingebruikname gekeurd worden door een erkende installateur;
- Centrale biomassa ketels moeten jaarlijks een onderhoudsbeurt krijgen;
- Na een periode van 5 jaar moet een verwarmingsaudit plaatsvinden wanneer het vermogen van de ketel 20 kW of groter is. De intervallen waarop de audits moeten plaatsvinden is afhankelijk van het geïnstalleerde vermogen.

Aanvullend aan het reguliere onderhoud dient ook nagedacht te worden over de toevoerlogistiek van de biomassavoorraad. Bij lokale productie (snoeiafval) moeten er voorzieningen zijn voor de productie, opslag en het drogen van de biomassa. Als biomassa bij een fabrikant wordt aangeschaft moet de voorraad ook met regelmaat worden aangevuld. Ook bij verwerkte biomassa zoals houtpellets dient rekening gehouden te worden met de aanvoer van de brandstof.

De levensduur van biomassaketels is erg afhankelijk van de biomassa zelf. Bij het gebruik van eigen geproduceerde biomassa met een lage homogeniteit bedraagt de levensduur 10-15 jaar. Bij verwerkte biomassa met een hoge homogeniteit bedraagt levensduur gemiddeld 15-20 jaar.

1.15.2.3 OVERIGE AANDACHTSPUNTEN

Bij de keuze van biomassaketel is de oorsprong van de biomassa belangrijk bij de beoordeling van het duurzaamheidsgehalte. De voorkeur gaat uit naar lokaal geproduceerde biomassa, bijvoorbeeld van landbouwrestproducten of bosbouw in plaats van vanaf het buitenland geïmporteerde biomassa.


Vanuit de Belgische overheid wordt gestuurd op fossielvrije energievoorzieningen tegen 2050. Bij de keuze voor een biomassa ketel dient rekening gehouden dat er in veel gevallen nog altijd CO₂ vrijkomt ook al wordt er gebruik gemaakt van een hernieuwbare bron. Het is mogelijk dat biomassa installaties op langer termijn uitgefaseerd worden.

1.15.3 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Toegankelijkheid	Wanneer de biomassaketel en -opslag zich binnen de woning bevinden, moet rekening gehouden worden met een toevoervoorziening voor de levering van biomassa.	Indien aanwezig kan een bestaande kolenkelder benut worden.
Leidingen en kanalen	Een biomassa installatie moet voorzien zijn van verschillende ventilatiekanalen. Deze dienen voor de aanvoer van verse lucht enerzijds en de rookgasafvoer anderzijds, waarlangs de verbrandingsgassen naar buiten kunnen. Er zijn specifieke richtlijnen verbonden aan de locatie van de rookgasafvoer, bedoeld om overlast te beperken.	Indien aanwezig kunnen bestaande gevelroosters of gevelopeningen benut worden om toevoervoorzieningen aan te brengen. Indien aanwezig kunnen bestaande schouwven benut worden om de rookgasafvoer in te verwerken.

 IMPACT OP HET INTERIEUR		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie binnenunit	De opstelruimte van een biomassaketel moet worden bestempeld als stookruimte . Dit houdt in dat de ruimte moet voldoen aan specifieke eisen voor bijvoorbeeld ventilatie en brandveiligheid. Er moet een ruimte gereserveerd worden voor de biomassaketel, inclusief eventuele voorraadvaten voor sanitair warm tapwater en eventueel de biomassaopslag.	Bouwkundig gezien zijn er mogelijkheden om deze voorzieningen te verwerken. Een opstelruimte in een goed verluchte technische berging, garage of schuur kan interessant zijn, ook naar toegang tot de verbrandingsunit voor de brandstoffen. Een installateur of architect kan hierbij helpen.
Afmetingen binnenunit	De afmetingen van een biomassaketel voor residentiële toepassing zijn gemiddeld tussen 100x60x60cm ³ en 180x60x60cm ³ , de omvang van een koelkast. Voor de grotere vermogens zijn de biomassaketels nog groter (breder en dieper). De afmetingen van een voorraadvat van 200l zijn 100x60x60cm ³ , de omvang van een kleine koelkast.	
Eisen voor de opslagruimte	Een opslagsysteem en/of opslagruimte is nodig om de biomassa in nabijheid van de biomassaketel te bewaren. De ruimte moet zodanig uitgerust zijn, dat de biomassa conform kan worden bewaard.	De opslagruimte moet constructief voldoende draagkrachtig zijn om het gewicht van de biomassa te kunnen dragen. Verifieer of dit het geval is en vergewis u ervan dat de toevoer van biomassa naar de opslagruimte geen schade berokkent aan waardevolle erfgoedelementen Spendeer hierbij voldoende aandacht aan eisen voor de ventilatie en relatieve vochtigheid.

Leidingen en kanalen	Afhankelijk van de opslag en het benodigde vermogen kan een transport medium noodzakelijk zijn van de opslagruimte naar de ketel zelf. De transportmedia kunnen variëren van aanzuigslangen tot mechanische transportbanden met een transportvijzel. Een biomassaketel moet bovendien voorzien zijn van een rioolafvoer.	Er zijn specifieke eisen verbonden aan de afstand tussen de ketel en de opslag, de aanzuig lengte en de opvoerhoogte (hoogteverschil tussen ketel en opslag), een ontwerper kan u hierin bijstaan.
Distributiesysteem	In een opstelling als centrale verwarming is een watervoerend distributiesysteem nodig voor een biomassaketel. Biomassa ketels kunnen als lokaal verwarmingssysteem aangebracht worden, zonder distributiesysteem. Dit heet een biomassakachel.	Een bestaand systeem voor centrale verwarming kan worden gekoppeld aan een biomassaketel als opwekker. De kachel kan geïntegreerd worden in bijvoorbeeld de traditionele haard. In deze situatie zal alsnog nagedacht moeten worden over de aanvoer van biomassa, de rookgasafvoer en het toevoeren van verse lucht.

 IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie buitenunit	De stookruimte (en andere voorzieningen) hoeft niet noodzakelijk intern geplaatst te worden. De stookruimte mag zich op het perceel bevinden.	Externe stookruimtes kunnen architectonisch op verschillende manieren uitgevoerd worden, bijvoorbeeld in hout of baksteen.
Rookgas-hinder	Bij de rookgasafvoer moet rekening gehouden worden met rookproductie, fijnstof en roetvorming. Dit kan het aanzicht van het gebouw beïnvloeden en/of vervuilen.	Rookgasreiniging is mogelijk, maar wordt in de praktijk eerder op grootschalige installaties toegepast.

 ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)	
ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement voor verwarmen en koelen is niet weersafhankelijk . Het rendement van een biomassaketel is erg afhankelijk van de gebruikte brandstof en het vochtgehalte. Vooral bij eigen productie kan homogeniteit een probleem vormen. Wanneer er gekozen wordt voor eigen productie, moet nagedacht worden over het productieproces en of dit op het eigen perceel kan plaatsvinden.
Productie biomassa	Biomassa kan lokaal geproduceerd worden, waardoor de energielasten lager worden.
Sanitair warm tapwater	Een biomassaketel kan sanitair warm tapwater bereiden.
Uitbreiding meterkast	Voor een biomassaketel en eventuele transportbanden wordt een eigen zekering aanbevolen in de meterkast.

1.16 WARMTE-KRACHTKOPPELING INSTALLATIES (TIJDELIJKE OPLOSSING)

1.16.1 BASISPRINCIPES

Een WKK-installatie produceert gelijktijdig warmte en elektriciteit. In de praktijk wordt gesteld dat een WKK een lokale vorm is van een energiecentrale. Een WKK wordt meestal gevoed door (bio)gas maar kan ook gevoed worden door houtpellets, stookolie of diesel. De WKK verbrandt de brandstof om een motor of turbine aan te sturen. De motor of turbine stuurt op zijn beurt een elektriciteitsgenerator aan. Bij dit verbrandingsproces komt veel warmte vrij. Deze warmte wordt via warmteterugwinning opgevangen in een voorraadvat. Van hieruit kan de warmte gebruikt worden voor bijvoorbeeld ruimteverwarming of de bereiding van sanitair warm tapwater. Omdat er sprake is van een verbrandingsproces moet rekening gehouden worden met voorzieningen voor de afvoer van rookgas.

Vanuit de overheid wordt aangestuurd op fossielvrije energievoorzieningen tegen 2050. Bij WKK-installaties is er sprake van een verbrandingsproces. Bij de keuze van een WKK-installatie dient er rekening mee gehouden worden dat gas, diesel of andere fossiele brandstoffen op termijn niet langer beschikbaar zullen zijn. Dat verklaart waarom de WKK in deze catalogus wordt beschouwd als een **tijdelijke oplossing**.



FIGUUR 61: Voorbeeld van een micro-WKK-installatie (7,5 kW elektrisch vermogen) ⁵⁸

Wanneer een WKK-installatie voor residentiële woningbouw gebruikt wordt, dan wordt er in de volksmond weleens gesproken over micro-WKK-installatie. Of er sprake is van een micro-WKK wordt bepaald door het maximale totale (thermisch en elektrisch) vermogen van de motor. In de praktijk kunnen WKK-installaties in verschillende vermogenscategorieën voorkomen. De Vlaamse overheid heeft hierbij gedefinieerd dat er sprake is van een micro WKK-installatie wanneer het maximale vermogen van de motor lager is dan 10 kW. Dit vermogen is ook maatgevend om in aanmerking te kunnen komen voor een premie.

In het kader van de studie koolstofarm verwarmen wordt voornamelijk gekeken naar micro WKK-installatie. Grotere installaties met een vermogen van meer dan 10 kW zijn te groot voor een woning. Zij bieden opportuniteiten voor grootschalige warmteopwekking voor (micro-)warmtenetten voor grotere erfgoedgebouwcomplexen zoals tuinvijken.



FIGUUR 62: Voorbeeld van een niet-residentiële WKK-installatie (> 50 kW elektrische vermogen) ⁵⁹

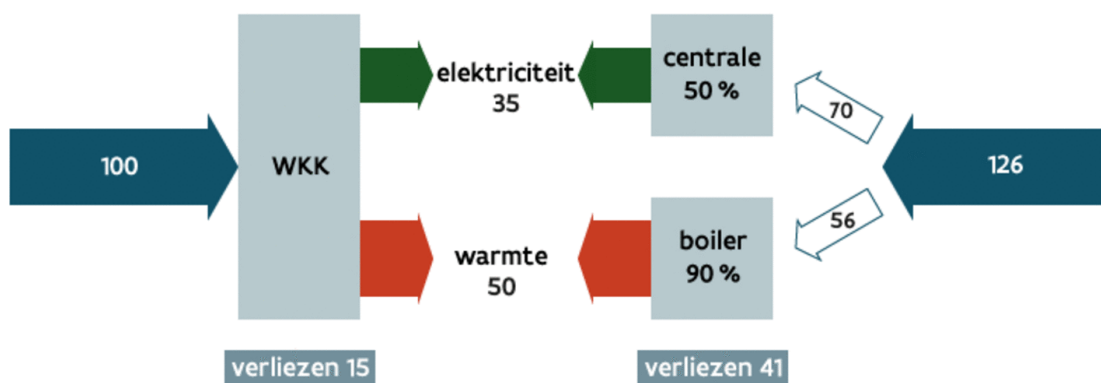
1.16.2 TECHNISCHE BEOORDELINGSCRITEIA WARMTEKRACHTKOPPELING

1.16.2.1 RENDEMENT

Micro WKK-installaties worden ontworpen op basis van de resultaten van een haalbaarheidsonderzoek. In het haalbaarheidsonderzoek moet bepaald worden hoe groot de elektriciteitsvraag en de warmtevraag zijn gedurende het jaar. Ook de gelijktijdigheid van de warmte- en elektriciteitsvraag spelen een rol bij de keuze van de installatie. Om het rendement te verhogen is het noodzakelijk dat de warmte- en elektriciteitsproductie op elkaar zijn afgestemd.

Een micro-WKK-installatie produceert warmte en elektriciteit in een bepaalde verhouding. Wanneer de verhouding tussen warmte- en elektriciteitsvraag sterk verschillend is van de productieverhouding zal er sprake zijn van een overschot aan warmte of elektriciteit. Het overschot aan elektriciteit kan terug geleverd worden aan het net. Buffervoorzieningen kunnen het warmte overschot opvangen voor bijvoorbeeld de bereiding van sanitair warm tapwater. Ontwerptechnisch heeft het echter de voorkeur om de overschotten te beperken. Het rendement van een WKK-installatie neemt sterk af bij de overschotproductie.

Aan de hand van de haalbaarheidsstudie wordt bepaald welke opstelling of variant het meest rendabel is. De haalbaarheidsstudie sluit veelal aan bij de warmtevraag voor zowel sanitair warm tapwater als ruimteverwarming. Het resulterende warmteregime kan daarom op zowel hoge als lage temperatuur afgiftesystemen afgesteld worden.



FIGUUR 63: Een vergelijking van een WKK-installatie (links) en twee separate systemen (rechts) maakt duidelijk dat de verliezen bij een WKK-installatie kleiner zijn. ⁶⁰

1.16.2 ONDERHOUD EN LEVENSDUUR


Bij de keuze voor een micro-WKK-installatie moet rekening gehouden worden met het volgende onderhoud:

- Nieuwe of gewijzigde installaties moeten voor ingebruikname gekeurd worden door een erkende installateur.
- Micro WKK-installaties moeten voldoen aan de AREI-keuring regelgeving.
- Een micro WKK-installatie moet tweemaal per jaar gecontroleerd worden door een erkend installateur.
- Na een periode van vijf jaar dient er een verwarmingsaudit plaats te vinden. De intervallen waarop de audits moeten plaatsvinden zijn afhankelijk van het geïnstalleerde vermogen.
- Afhankelijk van de gebruikte brandstof moet onderhoud gebeuren van de rookgasafvoer.

Micro-WKK-installaties hebben een levensduur van gemiddeld 10-15 jaar.

1.16.3 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Installatiespecifieke gebouwschildooring	Een micro-WKK kan gebruik maken van verschillende brandstoffen. Bijvoorbeeld gas, stookolie of hout. Afhankelijk van de bron moeten er maatregelen getroffen worden om de installatie veilig te bedienen: <ul style="list-style-type: none"> - een rookgasafvoer bij een gas-WKK - een toevoer bij een hout-WKK. In de meeste gevallen wordt een micro-WKK aangestuurd gevoed door aard- of biogas.	Indien aanwezig kunnen bestaande gevelroosters of gevelopeningen benut worden om toevoorzieningen aan te brengen. Zoals bij een biomassaketel moet de toevoer van de brandstof voldoende toegankelijk zijn, in functie van de te verwachte volumes. Indien aanwezig kunnen bestaande schouwen benut worden om de rookgasafvoer in te verwerken.

 IMPACT OP HET INTERIEUR		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie binnenunit	Er dient een ruimte gereserveerd te worden voor de WKK-installatie.	De binnenunit kan geplaatst worden in een technische ruimte.
Afmetingen binnenunit	De afmetingen van een micro-WKK zijn gemiddeld 120x120x150cm ³ (HxBxD), iets groter dan de omvang van een kleine 4-persoonstafel. Ze vragen vaak voor een grotere opstelruimte dan andere installaties.	
Stookruimte	Een micro-WKK kan door verschillende brandstoffen gevoed worden. Bijvoorbeeld gas, stookolie of hout.	Een gasketel is een verbrandingstoestel . Een opstellocatie voor een ketel moet hierdoor voldoen aan bepaalde eisen ten aanzien van ventilatie, plofvoorzieningen en brandveiligheid. Een ervaren installateur kan hiervoor helpen.
Distributiesysteem	Micro WKK-installaties dienen hun warmte af te geven aan een watervoerend distributiesysteem .	Indien aanwezig kunnen de bestaande leidingen benut worden.
Geluidhinder WKK	De binnenunit is een geluidsbron.	De plaatsing wordt voorzien in een technische ruimte met voldoende afstand van de verblijfsruimtes.



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Installatie-specifieke opstelling	Een micro-WKK kan door verschillende brandstoffen gevoed worden. Bijvoorbeeld gas, stookolie of hout.	Wanneer er gekozen wordt voor hout of stookolie zal nagedacht moeten worden over de aanvoer en stockage van de biomassa of de stookolie. Let er op dat dit op een dergelijke wijze kan georganiseerd worden dat er geen erfgoed beschadigd wordt;



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement voor verwarmen is niet weersafhankelijk . Het rendement van WKK's is hoger wanneer er verwarmd wordt op lage temperatuur. Zet eerst in op het isoleren van de woning.
Premies	Micro WKK-installaties (< 10 kW) kunnen een premie ontvangen mits voldaan wordt aan verschillende eisen. Hiervoor is het noodzakelijk dat de micro-WKK gestookt wordt met biogas . Andere vormen van brandstof zijn niet toegestaan.
Uitvoering	Micro WKK-installaties zijn gemiddeld gezien groter dan gasketels of warmtepompen. Uitvoeringstechnisch kan een micro WKK hierdoor meer aandacht vereisen bij de uitvoering, bijvoorbeeld bij het plaatsen.
Sanitair warm tapwater	Een micro-WKK kan sanitair warm tapwater bereiden. Een tweede systeem is daarom niet altijd nodig.
Elektriciteit	Een micro-WKK kan zowel warmte als elektriciteit opwekken. Hierdoor kunnen meerdere comfortdoelstellingen behaald worden. Omdat een micro-WKK lokaal elektriciteit kan opwekken dient rekening gehouden te worden met de regelgeving van een energieopwekker. De installatie moet aangemeld worden bij de netwerkbeheerder. Ook dient de installatie gekeurd te worden volgens de AREI-keuringrichtlijnen.
Uitbreiding meterkast	Voor de installatie van een WKK wordt een eigen zekering aanbevolen in de meterkast.

1.17 GASKETELS (TIJDELIJKE OPLOSSING)

1.17.1 BASISPRINCIPES

Een gasketel produceert warmte door het verbranden van aardgas. Het is dus geen koolstofarme oplossing. Maar wel een systeem dat vandaag nog zeer vaak aanwezig is in erfgoedgebouwen en ook nog frequent geïnstalleerd wordt. Om die reden bespreken we deze oplossing – die vanuit koolstofarme overwegingen beter vermeden wordt – hier kort. Vanuit de Belgische overheid wordt gestuurd op fossielvrije energievoorzieningen tegen 2050.⁶¹ Bij de keuze voor een gasgestookte ketel dient men er rekening mee te houden dat op termijn eventueel geen gasketels of onderdelen meer geleverd (mogen) worden. Wanneer de gasketel na een periode van 15-20 jaar wordt afgeschreven is de kans aanzienlijk dat een alternatief systeem zoals een warmtepomp alsnog gekozen moet worden. In lijn met deze insteek worden de gasketels in deze catalogus en de bijhorende afwegingsschema's dan ook louter als **tijdelijke oplossing** gezien.

Omdat een gasketel gas verbrandt, produceert deze ook rookgas. Dit rookgas moet afgevoerd worden via een rookgasafvoer kanaal. De resulterende warmte wordt vervolgens gebruikt voor het verwarmen van water in een distributiesysteem voor ruimteverwarming of voor de bereiding van sanitair warm tapwater.

1.17.1.1 CONDENSEREND EN NIET-CONDENSEREND

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen condenserende en niet-condenserende gasketels. Bij de verbranding van aardgas komt naast CO₂ ook waterdamp vrij. Als de waterdamp condenseert tot vloeibaar water, komt de verdampingswarmte vrij. De waterdamp in de rookgassen kan condenseren als de temperatuur van de rookgassen onder 55 °C daalt. Daarom wordt bij condenserende ketels de retourtemperatuur van het distributiesysteem beperkt tot 55 °C. Het condens (het vloeibare water) wordt via een condens afvoer afgevoerd.



FIGUUR 64: conciërgewoning Ter Vichte, condenserende gasketel – ©Erfgoed en Visie

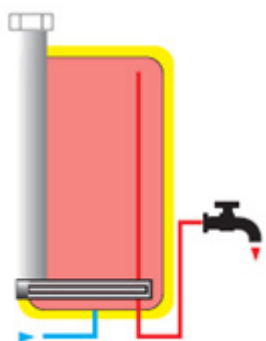
1.17.1.2 DISTRIBUTIESYSTEEM EN OPSLAG

Bij een gasketel wordt er typisch gebruik gemaakt van een watervoerend distributiesysteem. Via een distributiepomp wordt het warme water rondgepompt naar bijvoorbeeld radiatoren, warmtebatterijen, convectoren of oppervlakteverwarmingssystemen. Een thermostaat regelt wanneer en op welke temperatuur de gasketel warmte moet leveren aan het distributiesysteem.

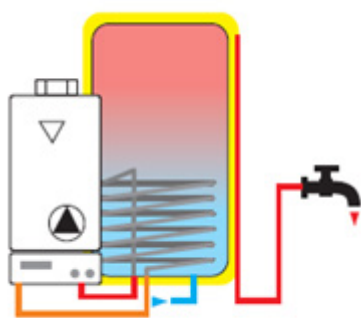
Afhankelijk van de sanitaire warm watervraag verschilt de uitvoering van een gasketel en het bijhorende sanitair voorraadvat. Bij een lage sanitaire warmwatervraag is het voorraadvat direct geïntegreerd in de gasketel (direct gestookt voorraadvat of een doorstroomtoestel). Bij een hogere sanitaire warmwatervraag is een los voorraadvat noodzakelijk (indirect gestookt voorraadvat). Bij een los voorraadvat is een groter ruimtebeslag noodzakelijk. Bij een zeer hoge sanitaire warmwatervraag kan een gebouw ook voorzien worden van een circulatieleiding of een ringleiding. Dit is een leiding waardoor continu warm water stroomt, of er nu warm water wordt afgetapt of niet.

Een ringleiding of circulatieleiding kan bijvoorbeeld toegepast worden in een woonzorgcomplex, studentenwooncomplex of bejaardentehuis. In deze gebouwen zijn er vaak meerdere individuele badkamers welke gekoppeld zijn aan één centraal verwarmingssysteem. Bij een ringleiding moet voor het ruimtebeslag, naast de opwekker en het voorraadvat, rekening gehouden worden met de dimensionering van de ringleiding zelf.

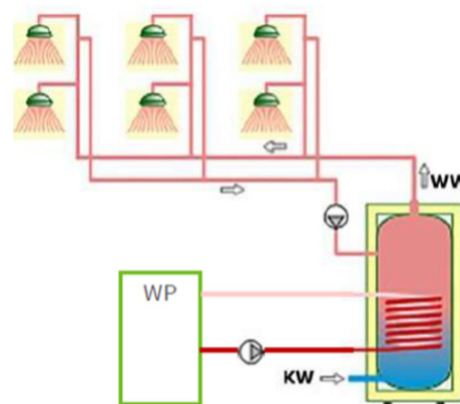
Direct gestookt voorraadvat



Indirecte gestookt voorraadvat



Ring- of circulatieleiding.



FIGUUR 65: verschil tussen verschillende sanitaire warmwatersystemen in relatie tot de warmteopwekker. © VITO

1.17.2 TECHNISCHE BEOORDELINGSCRITEIA GASKETELS

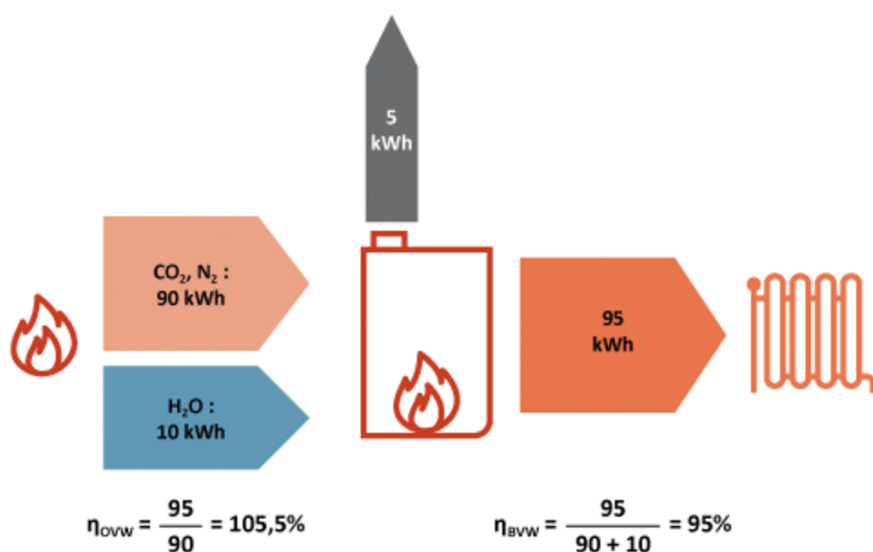
1.17.2.1 RENDEMENT WARMTE EN LABELS

Bij gasketels wordt het rendement bepaald door het rendement waarmee het verbrande gas omgezet wordt in nuttige warmte geleverd aan het watervoerende distributiesysteem. Voor een gasketel worden twee verschillende grootheden gebruikt voor het uitdrukken van het rendement. De gehanteerde grootheden zijn afhankelijk van de temperatuurregimes waarmee de radiatoren of vloerverwarming verwarmd worden.

Verbrandingswaarde

Bij hoge temperatuurregimes (> 55 °C) condenseert de waterdamp uit de rookgassen niet, en wordt het rendement traditioneel uitgedrukt als verhouding tussen de geleverde warmte en de energie-inhoud van de brandstof zonder condensvorming. Dit rendement wordt gedefinieerd bij onderste verbrandingswaarde.

Bij de opkomst van de condenserende gasketels bleef het rendement gedefinieerd tegenover de onderste verbrandingswaarde, waardoor het rendement hoger werd dan 100 % (typisch 105 tot 108 %). Condensatie vindt echter niet altijd plaats omdat het afhankelijk is van het temperatuurregime. Om deze reden mag de warmte uit de condens niet altijd meegenomen worden. Als het rendement gedefinieerd wordt tegenover de bovenste verbrandingswaarde, inclusief de condensatiewarmte, dan wordt het verbrandingsrendement eerder 95 %.



FIGUUR 66: het verschil tussen het rendement berekend op de ondergrenswaarde (links) en de bovengrenswaarde (rechts) ⁶²

Verband tussen rendement en temperatuurregime

Een gasketel kan warmte leveren tot een maximale aanvoertemperatuur van 90°C. Wanneer rekening gehouden wordt met een condenserende gasketel afgestemd op een hoog temperatuur regime dan moet rekening gehouden worden met een verbrandingsrendement van gemiddeld 95% ten opzichte van de ondergrenswaarde.

Condensatie vindt alleen plaats bij lagere temperatuurregimes (< 55,0°C). Een gasketel kan ook op lagere temperatuurregime afgestemd worden, bijvoorbeeld voor gebruik in combinatie met vloerverwarming. Dit is echter niet zonder gevolgen, zonder hoogwaardige isolatie van het gebouw kan het thermisch comfort in het gebouw achteruitgaan. Een lage temperatuur afgiftesysteem is mogelijk niet in staat voldoende warmte te leveren om de gewenste comforttemperatuur te bereiken.

Wanneer men een ruimte met veel warmteverlies wil verwarmen met een lage temperatuursysteem, kan het zijn dat de afgiftetoestellen vergroot moeten worden – of dat er toestellen bijgeplaatst moeten worden- om voldoende warmte te kunnen afgeven aan de ruimte. Bij laagtemperatuur regimes mag gesproken worden over een rendement van 100% of hoger ten opzichte van de ondergrenswaarde.

Zowel het rendement bij hoog temperatuur regimes als laagtemperatuur regimes zijn bekeken exclusief eventuele distributieverliezen van het systeem zelf.

Energielabel gasketel

Figuur 67 geeft een voorbeeld van een energielabel voor een gasketel. Gasketels hebben een energielabel G (zeer onzuinig) tot A+++ (zeer zuinig). In het label wordt onder andere het verbrandingsrendement van de gasketel maar ook het elektriciteitsverbruik (voor de hulpsystemen zoals distributiepompen) meegenomen. Het energielabel wordt veelal bepaald bij een warmteafgiftetemperatuur van 55,0 °C. Op het label kan een onderscheid gemaakt worden tussen ruimteverwarming en de bereiding van sanitair warm tapwater. Het sanitaire label houdt hierbij rekening met een vraagprofiel, uitgedrukt met XXXS (zeer lage vraag) tot en met XXL (zeer hoge vraag). Een ééngezinswoning heeft typisch een profiel XL.

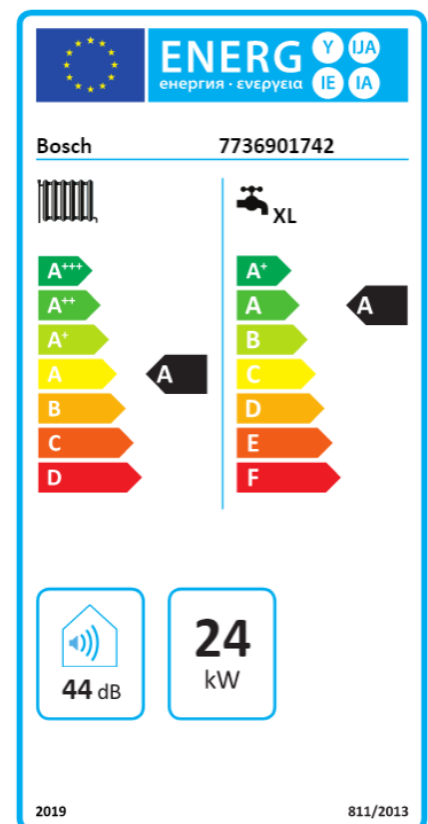
1.17.2.2 ONDERHOUD EN LEVENSDUUR

Bij de keuze voor een gasketel moet rekening gehouden met het volgende onderhoud:

- Nieuwe of gewijzigde installaties moeten voor ingebruikname gekeurd worden door een erkende installateur.
- Een gasketel moet elke twee jaar gecontroleerd worden door een erkend installateur, die een attest aflevert.
- Na een periode van 5 jaar dient er een verwarmingsaudit plaats te vinden wanneer het verwarmingsvermogen van de ketel 20 kW of groter is. De intervallen waarop de audits moeten plaatsvinden zijn afhankelijk van het geïnstalleerde vermogen.

Gasketels hebben een levensduur van gemiddeld 15-20 jaar.

FIGUUR 67: Voorbeeld van een label voor een gasketel welke zowel gebruikt kan worden voor ruimteverwarming (symbool van een radiator linksboven) als sanitaire warm water bereiding voor een XL sanitair warm tapwater profiel (symbool van een kraan met indicatie 'XL' rechtsboven). Het label toont verder ook het geluidsniveau van de installatie (uitgedrukt in decibel, dB) en het maximale vermogen (uitgedrukt in kW).



1.17.3 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie doorvoer	Een gasketelinstallatie moet voorzien zijn van een rookgasafvoer , waarlangs de verbrandingsgasen naar buiten gaan. Er zijn specifieke eisen verbonden aan de locatie van de rookgasafvoer om overlast te beperken.	Rookgasafvoer mag in een schoorsteen verwerkt worden en al dan niet met een kap worden afgewerkt. Een installateur of architect kan hierbij helpen.
Ventilatievoorziening	Een stookruimte moet voorzien zijn van ventilatievoorzieningen, zodat er voldoende verse lucht binnen kan.	Indien aanwezig kunnen bestaande gevelroosters, of rasters benut worden om ventilatievoorzieningen aan te brengen.

 IMPACT OP HET INTERIEUR		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Afmetingen binneneenheid	Er moet een ruimte gereserveerd worden voor de gasketel, inclusief eventuele sanitaire warmwatervoorraadvaten.	De binneneenheid kan geplaatst worden in een goed verluchte technische ruimte.
	De afmetingen van een gaswandketel voor een ééngezinshoning zijn gemiddeld 80x40x40 cm ³ (HxBxD). De afmetingen van een gasketel met een geïntegreerd voorraadvat voor sanitair warm tapwater zijn gemiddeld: <ul style="list-style-type: none"> - 120x60x60 cm³ (HxBxD), de omvang van een middelgrote koelkast, bij 200 liter opslag. - 200x85x85 cm³ (HxBxD), de omvang van een de ruimte die een deur inneemt, bij 500 liter opslag. 	
Eisen stookruimte	Een gasketel is een verbrandingstoestel . Een opstellocatie voor een ketel moet hierdoor voldoen aan bepaalde eisen ten aanzien van ventilatie, plofvoorzieningen en brandveiligheid.	Bouwkundig gezien zijn hier veel mogelijkheden om deze voorzieningen te verwerken. Een installateur of architect kan hierbij helpen.
Distributiesysteem	Een gasketel kan enkel uitgevoerd worden in combinatie met een centraal watervoerend distributiesysteem .	
Afvoer	Een condenserende gasketel moet voorzien zijn van een rioolafvoer.	

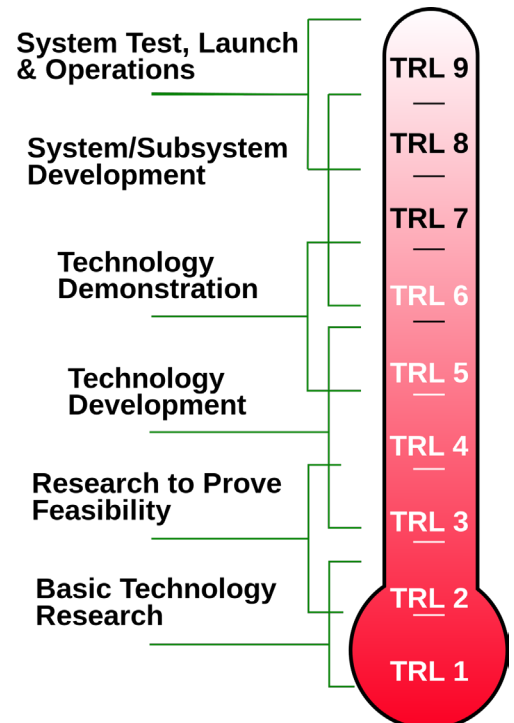
 IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Vervuiling	Bij de rookgasafvoer moet rekening gehouden worden met rookproductie, fijnstof en roetvorming . Dit kan het aanzicht van het gebouw beïnvloeden of vervuilen.	


ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Rendement voor verwarmen is niet weersafhankelijk. Het rendement van gasketels is hoger wanneer er verwarmd wordt op lage temperatuur. Zet eerst in op het isoleren van de woning.
Sanitair warm tapwater	Een gasketel kan sanitair warm tapwater bereiden. Een tweede systeem is daarom niet altijd nodig.
Gasaansluiting	Een gasketel vereist een gasaansluiting. Aardgas is een fossiele brandstof die uitgefaseerd gaat worden tegen 2050. Een gasketel is daarom een tijdelijke oplossing.
Uitbreiding meterkast	Een gasketel dient voorzien te worden van een eigen aansluiting in de meterkast. De eigenaar dient rekent te houden met een uitbreiding en/of modernisering van de meterkast.

1.18 TECHNOLOGIE IN ONTWIKKELING

Innovatieve systemen met een TRL van 7 en lager zijn vandaag nog niet toepasbaar onder normale marktcondities. Ze worden hier wel gesitueerd als technologieën die mogelijk beschikbaar worden op middellange of lange termijn en potentieel bieden voor integratie in erfgoedcontext.



FIGUUR 68: TRL-niveaus

1.18.1 WATERSTOFFPANEEL



FIGUUR 69: waterstofpaneel - © solhyd

BEOORDELING

TRL	7 Demonstratie prototype in operationele omgeving
Toepassing	Duurzaam opwekken van alternatieve brandstof
Voorbeeld	Solhyd - www.solhyd.org

Dit fotovoltaïsche paneel gebruikt zonne-energie om de watermoleculen die aanwezig zijn in de buitenlucht om te zetten in brandstof. Het zonnepaneel zet zonne-energie om in elektrische stroom, en elektrodes met katalysatoren gebruiken die elektrische energie om water te splitsen in zuurstof en waterstof. Een membraan van een innovatief materiaal zorgt ervoor dat de waterstof en de zuurstof van elkaar gescheiden blijven.

De waterstof die een dergelijk paneel opwekt, kan dan worden gebruikt als brandstof van een verbrandingstoestel.

De BatHyBuild studie⁶³ geeft aan dat waterstof een rol kan spelen in de verwarming van gebouwen. Met name in gebouwen waar het terugdringen van de warmtevraag erg moeilijk is. Tegelijkertijd plaatst de studie hierbij enkele belangrijke kanttekeningen:

- Warmtepompen zijn de meest efficiënte technologie
- Als lage temperatuurverwarming aanwezig is, is all-electric verwarmen de goedkoopste optie
- Aanbevelingen op het vlak van energie-efficiëntie blijven gelden voor waterstof
- Waterstof zal pas over 10-15 jaar een rol van betekenis spelen in gebouwen.

1.18.2 THERMO-AKOESTISCHE MOTOR VOOR WARMTEPOMP



FIGUUR 70: thermo-akoestische motor voor warmtepomp - © BlueHeart

BEOORDELING

TRL	5 Validatie prototype
Toepassing	Alternatieve motor voor warmtepomp
Voorbeeld	BlueHeart energy - www.blueheartenergy.com

Deze thermo-akoestische motor is ontworpen als vervanging voor het deel van de warmtepomp met de compressor en expansieventiel. Deze technologie maakt geen gebruik van de energie die vrijkomt bij de faseverandering van een koelmiddel (verdampen en condenseren), maar haalt haar energie uit het met akoestische golven samendrukken en ontspannen van helium.

De werking van deze thermo-akoestische motor zou op termijn compatibel moeten zijn met de meeste warmtebronnen en afgiftesystemen. De technologie is nog in volle ontwikkeling en een toepassing in marktklare producten is nog niet voorzien.

1.18.3 HOGE TEMPERATUUR THERMO-CHEMISCHE WARMTEPOMP

BEOORDELING	
TRL	7 Demonstratie prototype in operationele omgeving
Toepassing	Thermische opslag en lucht/water warmtepompsysteem
Voorbeeld	Cesar Bulk energy storage - cesar-energystorage.com



FIGUUR 71: warmte-accu van thermo-chemische warmtepomp in opbouw in oude stal. Dit systeem zal warmte voorzien aan een nieuwbouwproject van 20 appartementen - © Cesar-Energystorage

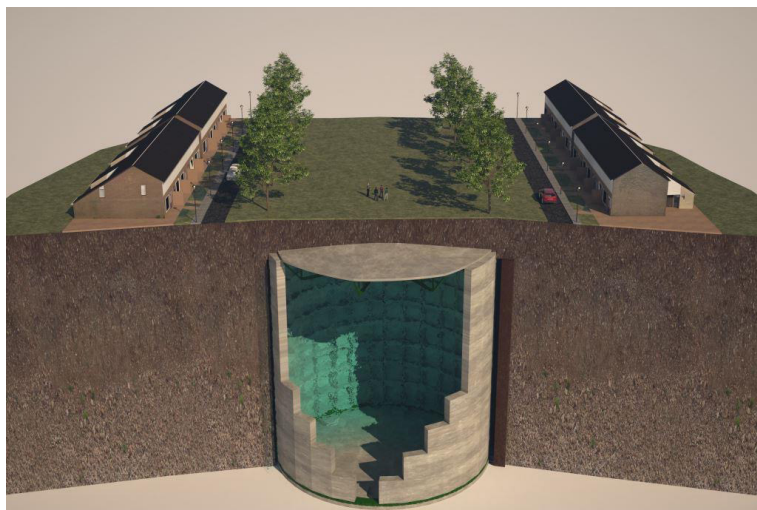
Een warmte-accu gebruikt elektrische energie (uit zonnepanelen, windturbines of rechtstreeks van het net) om een opslagmedium te verwarmen. De opwarming gebeurt door middel van roestvrijstalen buizen waar de elektriciteit doorheen stroomt. Op dezelfde manier als een gloeidraad werkt, warmt deze elektrische stroom de buizen op. De temperatuur in het opslagmedium kan oplopen tot > 400°C. De warmte wordt dan gestockeerd in het medium in een geïsoleerd opslagvat.

Door koude lucht door de buizen te stuwen, wordt de warmte uit de warmte-accu naar een warmtewisselaar in een buffervat getransporteerd. Daar wordt het water op de gewenste bedrijfstemperatuur bewaard.

Interessant is dat zonne-energie die niet momentaan wordt opgebruikt, op die manier langere periodes thermisch kan worden opgeslagen en alsnog lokaal kan worden benut.

De technologie wordt momenteel in enkele residentiële nieuwbouwprojecten getest maar kan eventueel ook op termijn geïntegreerd worden op rurale erfgoed sites in bijgebouwen zonder erfgoedwaarde.

1.18.4 SEIZOENSWARMTEOPSLAG



FIGUUR 72: Schematische doorsnede doorheen de seizoensopslag, gelinkt aan een gebouwencomplex - © Ecovat

BEOORDELING

TRL	7 Demonstratie prototype in operationele omgeving
Toepassing	Grootschalige thermische opslag voor water/water warmtepomp-systeem
Voorbeeld	Ecovat - www.ecovat.eu

Dit is een groot ondergronds buffervat, gevuld met water. Wanneer er een overschot is aan duurzaam opgewekte energie (van zonnepanelen, windturbines of rechtstreeks van het net), kan dit surplus worden aangewend om water op te warmen en zo worden opgeslagen als warmte. Het is als een thermische batterij, die kan worden aangesproken om momenten dat er een warmtevraag is.

Deze oplossing wordt bekeken als grootschalige thermische opslag in een groter energetisch geheel. De toepassing overstijgt daardoor het individuele gebouwniveau. De voorbeeldfabrikant biedt oplossingen aan vanaf een diameter van 30 meter. Bij mogelijke toekomstige integratie in erfgoedcontext zullen hier zeker ook dezelfde aandachtspunten spelen als bij geothermie.

1.18.5 WATERSTOFKETELS (H2 READY)

BEOORDELING

TRL	7 Demonstratie prototype in operationele omgeving
Toepassing	Verbranding van waterstofgas voor warmteopwekking
Voorbeeld	Port of Antwerp Bruges

Waterstofketels worden regelmatig in het nieuws genoemd. Waterstofketels maken deels gebruik van aardgas en deels van waterstof (verhouding 20%/ 80%). Waterstof wordt als duurzaam bestempeld omdat er bij de verbranding geen CO₂ vrijkomt.

Waterstof kan in theorie geproduceerd worden met (duurzame) opgewekte stroom waardoor ook het productieproces geen CO₂-uitstoot heeft, maar dit proces is eerder inefficiënt.

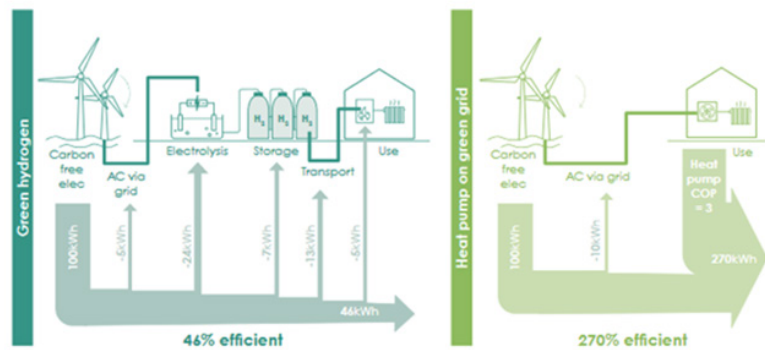
In het kader van deze studie is ervoor gekozen om alleen in te gaan op gasketels; waterstofketels worden niet beschouwd. Hier zijn verschillende redenen voor.

- De huidige infrastructuur is nog niet ingericht om consistent waterstof op grote schaal te kunnen produceren en leveren voor commerciële doeleinden zoals het grootschalig verwarmen van de woningbouw.
- Projecten waarbij waterstofketels worden gebruikt zijn veelal proefprojecten. Op de commerciële markt zijn waterstofketels niet direct beschikbaar.

- De wettelijke eisen en randvoorwaarde voor de installatie van deze ketels zijn regeltechnisch niet uitgewerkt. Met andere woorden: er zijn geen uniforme technische afspraken beschikbaar waaraan deze installaties moeten voldoen om een veilige en goed functionerende situatie te kunnen garanderen.
- Praktisch gezien hebben slechts weinig installateurs ervaring met het plaatsen en onderhouden van deze ketels.

De efficiëntie van warmtepompsystemen op duurzame elektriciteit ligt bovendien veel hoger dan de efficiëntie van groene waterstof (zie Figuur 73). De aandachtspunten voor mogelijke installatie in erfgoedcontext zullen grotendeels overeenkomen met deze ook aangehaald voor een gasketel.

FIGUUR 73: Verschil tussen groene waterstof en een warmtepompsysteem op duurzame elektriciteit - © LETI hydrogen report



Waterstofsysteem en ondersteunende infrastructuur kunnen op lange termijn uiteraard op de markt komen. Echter, gezien bovengenoemde redenen lijken er op dit moment nog onvoldoende redenen te zijn om waterstofketels op grote schaal toe te passen.



Het argument dat waterstof kan worden opgewekt met duurzame elektriciteit snijdt voorlopig nog geen hout. Er is namelijk geen surplus aan hernieuwbare energie beschikbaar.

In 2021 was hernieuwbare energie in België maar goed voor 13% van de gebruikte energie.

(bron: Eurostat: share of energy from renewable sources)

2 / WARMTE-AFGIFTE-ELEMENTEN

In dit deel worden de verschillende mogelijkheden qua afgifte-elementen besproken. Na een korte toelichting over hun werking, kunnen we een afweging maken tussen de verschillende afgifte-elementen op gebied van comfort, energie en vermogen. Daarnaast wordt de basis van hydraulische aansluitingen en verdeelsystemen uitgelegd. Dit wordt beschreven in:

- Werking van warmte-afgifte
- Afweging tussen systemen: comfort en energie
- Afweging tussen systemen: vermogen en regimetemperatuur
- Correctie van afgifte bij niet genormeerde opstelling
- Hydraulische aansluitingen
- Verdeelsystemen

Specifiek voor erfgoed gaan we na hoe we afgifte-elementen kunnen recupereren en/of integreren:

- Manieren om nieuwe of gerecupereerde afgiftelichamen te integreren
- Recuperatie van bestaande afgifte-elementen en distributienetwerk

De Bijlagen bevatten praktische informatie om het vermogen van bestaande radiatoren bij een bepaalde regimetemperatuur te bepalen en een breed overzicht van praktische oplossingen voor vloerverwarmingssystemen.

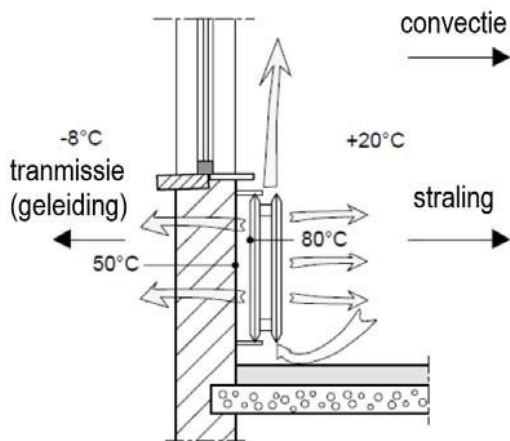
2.1 BASISPRINCIPES

De term ‘warmteafgifte-element’ of ‘afgiftelichaam’ is een verzamelnaam voor radiatoren, convectoren en oppervlakte-verwarmingssystemen. Het zijn elementen die de warmte van een centraal opwekkingssysteem afgeven in de ruimte waarin ze zijn opgesteld. Een warmte-opwekkingssysteem produceert warmte, een watervoerend distributiesysteem verdeelt de warmte in de woning en een afgiftelichaam geeft de warmte af in een ruimte. De (eind)regeling gebeurt door de warmteafgifte van deze elementen af te stemmen op de warmtevraag in elke ruimte. Dit kan door het debiet van de watertoevoer te regelen (debietsturing), of door de aanvoertemperatuur te variëren (temperatuursturing). Vanuit de comfortvraag kan je de volgorde ook omdraaien: het zijn de warmtelichamen en de regeling die bepalen hoeveel warmte wordt afgegeven in de woningruimtes, en de warmte-opwekking en -distributie proberen deze warmte te leveren. Sommige afgifte-elementen die voor verwarming zijn ontworpen kunnen ook koeling leveren, maar daar zal hier niet verder op worden ingegaan.

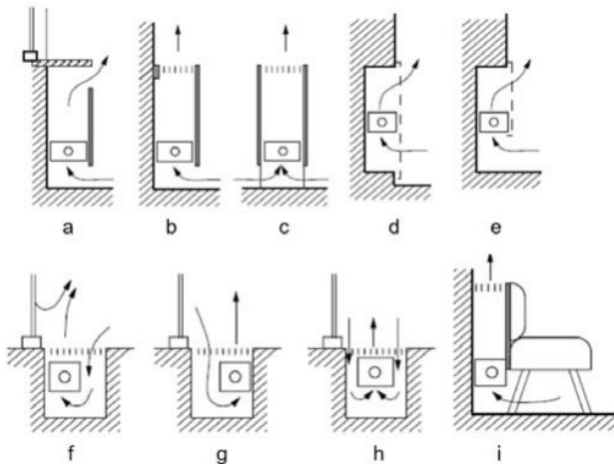
In erfgoedwoningen zijn soms authentieke warmteafgifte-elementen aanwezig, zoals gietijzeren radiatoren die met een centrale opwekker zoals een kolenketel werden verwarmd. In zeldzame gevallen zijn ook decentrale kachels bewaard. Maar veelal is de installatie op een recentere datum al vernieuwd. Deze fiche bevat de algemene aspecten van warmteafgifte, met vermelding van de specifieke aspecten van de erfgoedcontext. In de bijlagen achteraan dit document wordt er meer gedetailleerde info gegeven.

2.1.1 WERKING VAN WARMTE-AFGIFTE

De warmte wordt in de ruimte overgedragen door convectie en straling, zie het voorbeeld van de radiator in Figuur 76. De efficiëntie waarmee dat gebeurt, hangt nauw samen met de opstelling in de ruimte. Figuur 75 geeft een overzicht van mogelijke opstellingen. Enkele voorbeelden van authentieke (of minstens niet-recente) opstellingen in erfgoedwoningen zijn te zien in Figuur 78 tot Figuur 81.



FIGUUR 74. Warmteoverdracht van een radiator door straling en convectie. © Buildwise



FIGUUR 75. Mogelijke opstelling van convectoren: tussen vloer en venstertablet (a), tegen een muur (b), vrijstaand (c), in een muurnis (d, e), in een convectorput (f, g, h), achter een meubel (i).



FIGUUR 76. Gerecupereerde ledenradiator in Bijlokecomplex in Gent. De radiator is voorzien van een moderne kraan en aansluiting en geplaatst in een ondiepe nis onder het raam. (foto: Agentschap Onroerend Erfgoed)



FIGUUR 77. Convector geplaatst in een convectorput voor een vensterraam. (foto: Beeldbank Onroerend Erfgoed)



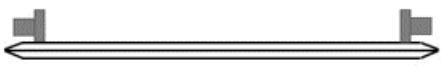




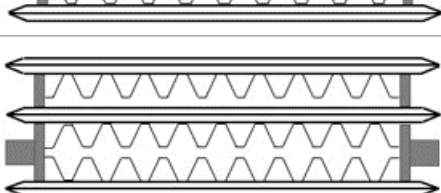
FIGUUR 78. Twee gietijzeren ledenradiatoren geplaatst in een speciaal daarvoor gecreëerde kast uit hout en rieten schermen in het huis Lousbergs - de Hemptinne in Gent. De kast is qua kleur en vormgeving geïntegreerd in het interieur dat ouder is. (foto: Agentschap Onroerend Erfgoed)



FIGUUR 79. Radiator geplaatst tijdens de jaren 1930 in een daarvoor gecreëerde kast van hout en riet in het kasteel van Hex. De kast is qua kleur en vormgeving geïntegreerd in het interieur dat veel ouder is. Vermoedelijk is de marmeren venstertablet ook aangepast tijdens die fase. (foto: Buildwise)

Bij **convectie** gebeurt de warmteoverdracht via de lucht die in contact staat met het verwarmingslichaam. De opgewarmde lucht wordt lichter en stijgt op in de ruimte. Dit creëert een zuigeffect onderaan het verwarmingslichaam dat daardoor de koude lucht uit de ruimte aantrekt. Zo ontstaat er een circulerende beweging waardoor uiteindelijk al de lucht in de ruimte verwarmd wordt. Hoe meer verticale warmtevoerende platen, kolommen of vinnen er aan het warmtelichaam bevestigd zijn, hoe meer 'schouwtjes' er gecreëerd worden en hoe hoger het aandeel convectie in de totale warmte-afgifte zal zijn. Dit varieert van 50% voor de enkelplaatige radiator, over 80% voor een modernere platenradiator met 2 platen en 2 vinnenrijen, tot bijna 100% voor de meeste **convectoren**, zie Tabel 2. In eerste instantie warmt de lucht dus op door convectieve warmte-overdracht, maar daarna ontstaat er een wisselwerking met de wanden in de ruimte; deze warmen ook op door het contact met de warme lucht, in eerste instantie boven het warmte-element. Die opgewarmde wand- of plafondvlakken gaan uiteindelijk ook warmte afgeven, door convectie en straling.

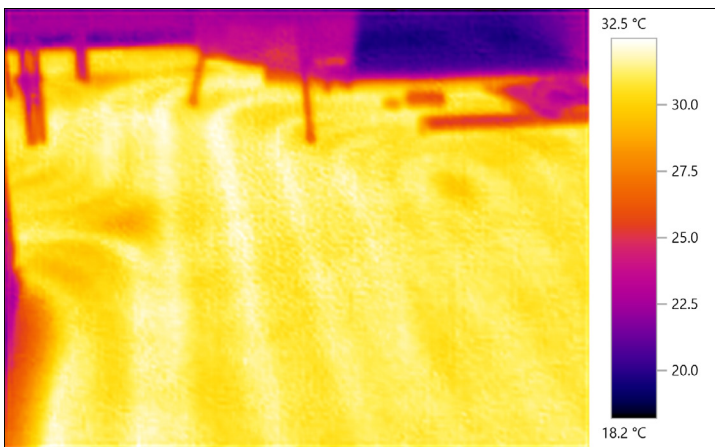
TABEL 2 / Aandeel straling t.o.v. de totale warmte-afgifte van verschillende (convecto-)radiatoren.

TYPE	SCHETSMATIGE WEERGAVE	AANDEEL STRALING
10		50%
11		35%
20		35%
21		20%
22		15%
33		10%

Bij warmteoverdracht door **straling** wordt de warmte van het verwarmingslichaam afgegeven in alle richtingen in de vorm van infraroodstraling en wordt deze uitgewisseld met alle wanden, meubels en personen in de ruimte die een verschillende oppervlaktetemperatuur hebben. De lucht van de ruimte wordt op zijn beurt ook opgewarmd door het contact met deze oppervlakken, waardoor er ook weer convectie ontstaat. Dat zien we aan de voorkant van een radiator, waar zowel straling als convectie plaatsvindt, maar ook op het oppervlak van een vloer waarin vloerverwarming verwerkt is (bijvoorbeeld een systeem met buizen die in de dekvloer zijn verwerkt, Figuur 80 en Figuur 81) en in mindere mate bij plafondverwarming. Het aandeel straling t.o.v. de totale warmte-afgifte bedraagt bij vloerverwarming 50% terwijl dit veel hoger kan oplopen voor een stralend plafond.



FIGUUR 80. Vloerverwarmingsbuizen die ingewerkt worden in de chape (dekvloer) in het ateliergedeelte van de modernistische Woning Billiet in Brugge. De buizen zijn aangebracht op harde isolatieplaten, afgedekt met folie. © Buildwise



FIGUUR 81. Infrarood-opname van de dekvloer met werkende vloerverwarming in een gerenoveerd begijnhofhuis. Het tracé is zichtbaar met IR doordat de oppervlaktetemperatuur hoger is op plaatsen waar de buizen zitten. In deze fase wordt de verwarming in werking gesteld om de dekvloer voldoende te laten drogen vooraleer de vloerafwerking geplaats wordt. (Foto: Buildwise)



FIGUUR 82. Visueel beeld van de dekvloer met vloerverwarming uit Figuur 81. (Foto: Buildwise)



FIGUUR 83: Plaatsing van vloerverwarming, conciërgewoning kasteel van Vichte (Erfgoed & Visie, Energiezuinige ingrepen in monumenten met woonfunctie)

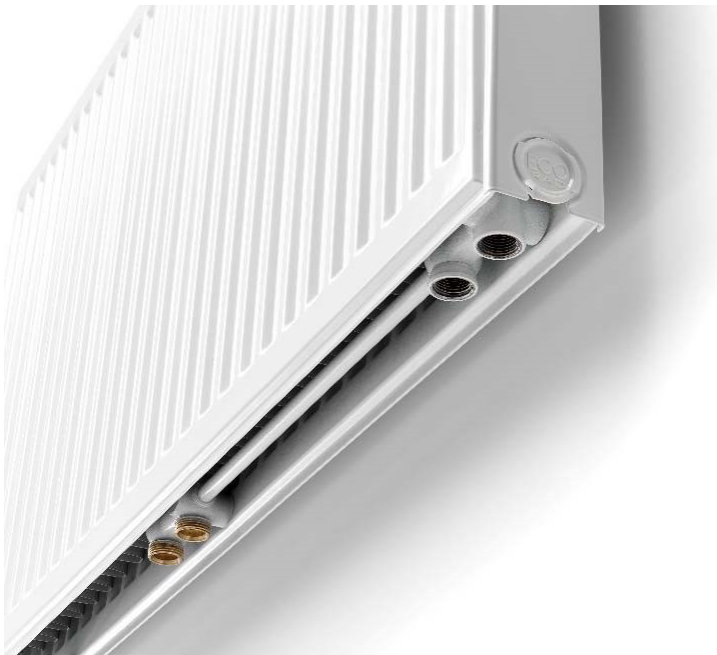


FIGUUR 84: Wandverwarming geplaatst tegen buitengevel geïsoleerd met kalkhennep in Hoeve de Hertogh, Boutersem (Laurenz Kuijpers, Energiezuinige maatregelen in monumenten met woonfunctie)

2.1.2 HYDRAULISCHE AANSLUITINGEN

Traditioneel zijn radiatoren voorzien van hydraulische zijaansluitingen bovenaan of onderaan. De radiator wordt daarbij diagonaal doorstroomd. Convectoren hebben dan weer zijaansluitingen aan de ribbenbuizen. Daarnaast zijn de hydraulische aansluitingen van radiatoren, om praktische en esthetische redenen, ook vaak beschikbaar aan de onderzijde (rechts, links of in het midden, zie Figuur 85) en soms zelfs aan de bovenzijde, bijvoorbeeld voor bepaalde verticale radiatoren.

Er bestaan ook radiatoren met een ingebouwd ventiel, zodat de buizen die naar de kraan lopen niet zichtbaar zijn (Figuur 86). De grote verscheidenheid aan kranen biedt gebruikers kortom de keuze om convectoren en radiatoren onderaan, achteraan of opzij aan te sluiten (Figuur 87).



FIGUUR 85 Hydraulische onderaansluiting van een radiator. (Bron: Henrad)



FIGUUR 86 Radiator met intern ventiel. (Bron: Henrad)

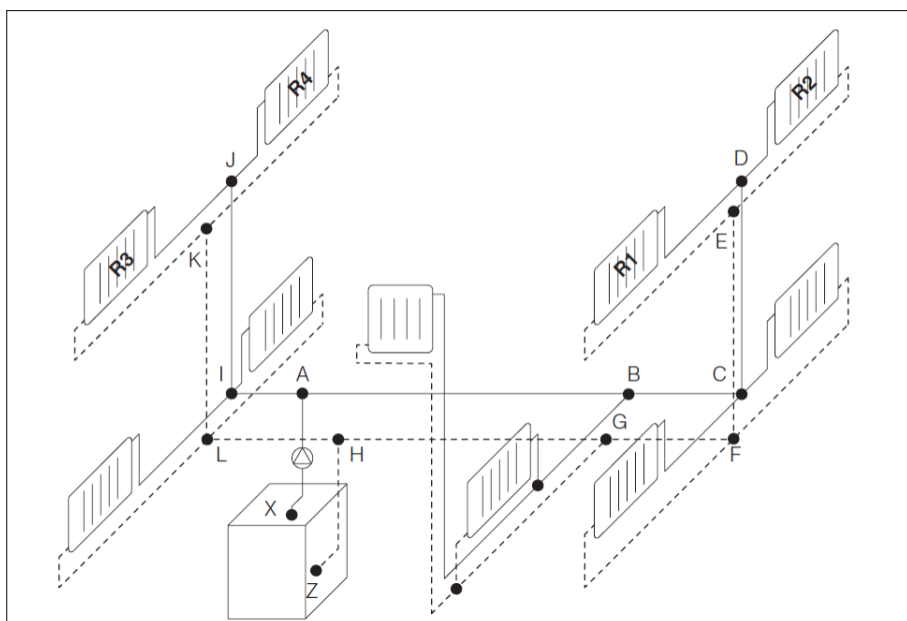


FIGUUR 87 Convectorkraan voor aansluiting naar de muur (Bron: Jaga).

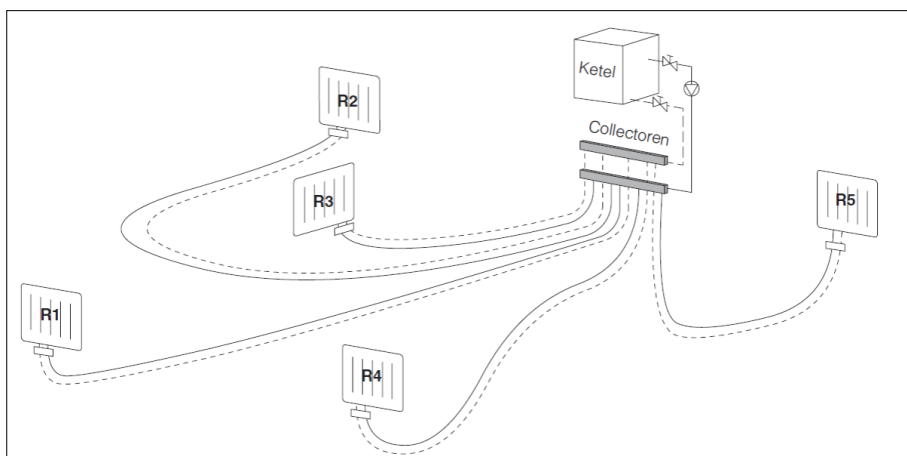
2.1.3 VERDEELSYSTEEM

De onderlinge verbinding van de afgifte-elementen of de verbinding van de afgifte-elementen met de opwekker, kan op verschillende manieren gebeuren: parallel met een tweepijpsinstallatie volgens een boomstructuur (zie Figuur 88), parallel vanuit een centraal verdeelpunt, “collectorsysteem” of “octopusstelsel” genoemd (zie Figuur 89), volgens een specifieke “Tichelmannkring” (zie Figuur 90) of bij oudere installaties kunnen ze ook nog in serie zijn geschakeld, wat we ook een éénpijpsinstallaties noemen (zie Figuur 91).

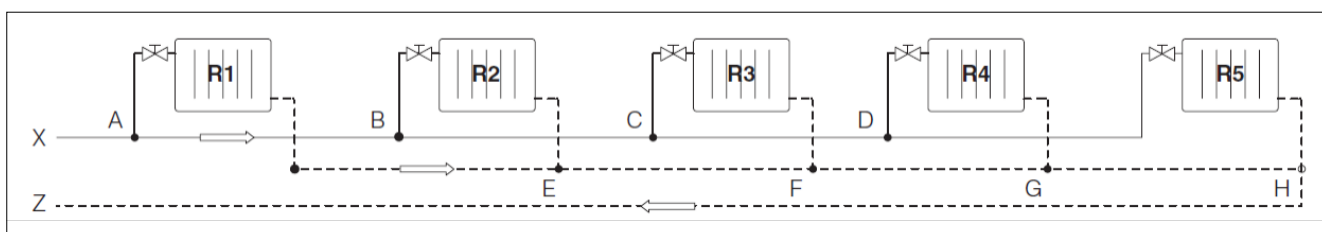
Bij uitgebreide tweepijpsinstallaties met lange rijen in parallel geplaatste radiatoren (zoals het geval kan zijn in grote gebouwen), kan het verschil in drukverlies tussen de radiatorkring van de verst van de warmtebron verwijderde radiator en deze van de dichtstbij geplaatste radiator zeer groot worden. In dat geval kan men overstappen naar een Tichelmannring die zo is opgebouwd dat elke radiator in de kring dezelfde verschuldruk ondervindt.



FIGUUR 88 Tweepijpsinstallatie in boomstructuur: vertrekleidingen in volle lijn en retourleidingen in stippellijn. (Bron: Buildwise)

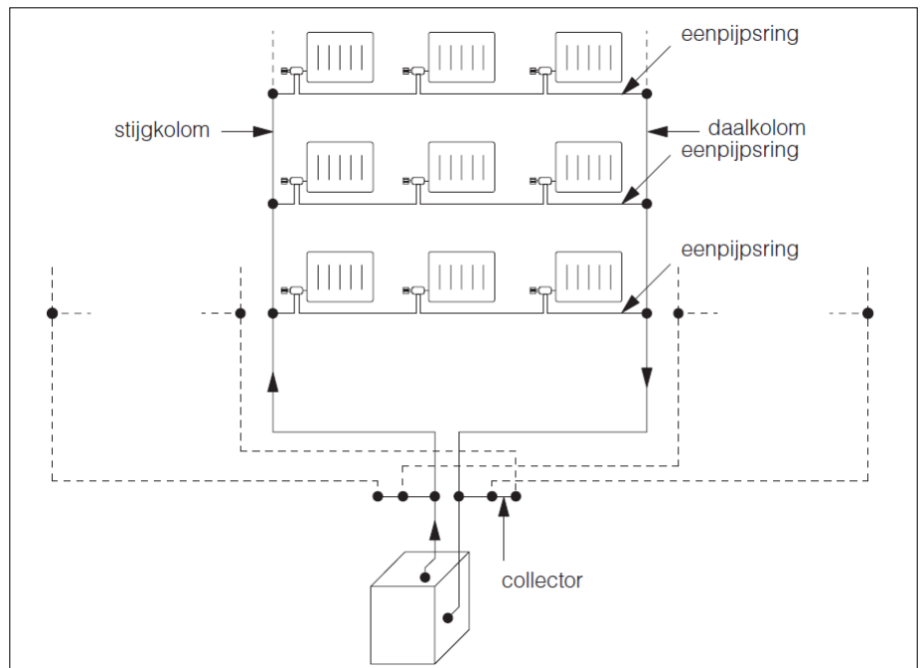


FIGUUR 89 Tweepijpsinstallatie in collectorstructuur: vertrekleidingen in volle lijn en retourleidingen in stippellijn. (Bron: Buildwise)



FIGUUR 90 Tweepijpsinstallatie in Tichelmannring. (Bron: Buildwise)

FIGUUR 91 Éénpijpsinstallatie met verschillende ringen aangesloten op 2 kolommen. (Bron: Buildwise)



Leidingdiameters worden bij ontwerp bepaald op basis van een wrijvingsweerstand die best niet te hoog oploopt en een maximale stroomsnelheid die wordt aangenomen (om geluidsoverlast te voorkomen). De diameters van de leidingen zijn om die redenen best niet te klein (toename drukverlies, akoestiek), maar ook niet te groot (extra kosten). Ze worden berekend op basis van de nodige waterdebieten in de verschillende leidingen. In een tweepijpsnetwerk is het maximaal debiet in een leiding gelijk aan de som van de benodigde debieten van de aangesloten radiatoren. In een éénpijpsnetwerk, daarentegen, is het debiet gelijk aan de hoogste van de aangesloten radiatoren. Als het een eenvoudige serieschakeling betreft is er maar 1 debiet.

Het benodigde debiet van een radiator is éénduidig bepaald wanneer het benodigd vermogen is gekend en de gewenste aanvoer- en retourtemperatuur zijn gekozen:

$$q_{m,rad} = \frac{\Phi \cdot 3600}{c \cdot (\theta_{w,i} - \theta_{w,r})} \quad (\text{kg/h})$$

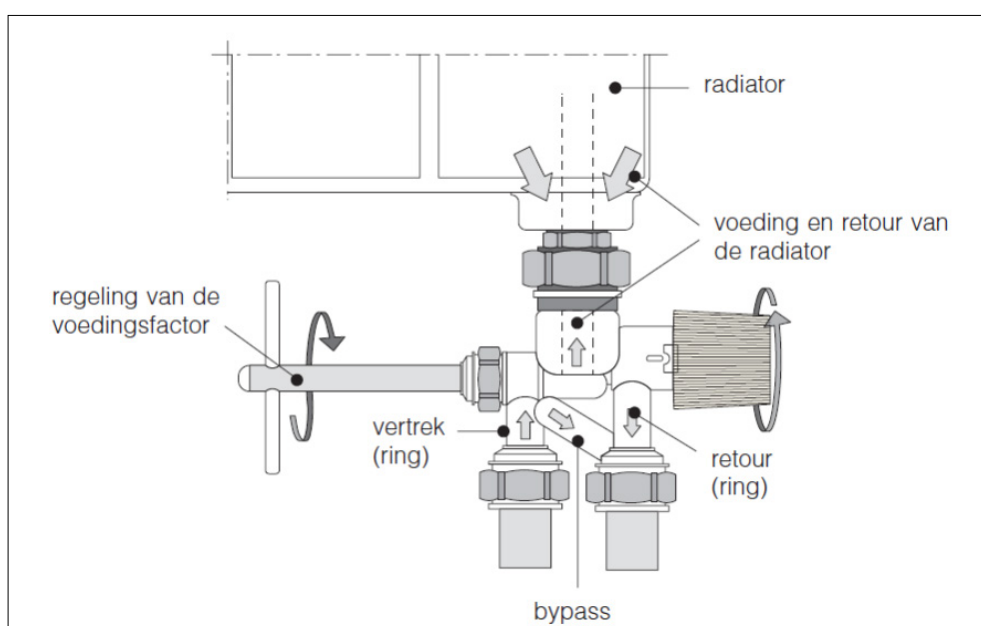
Waarbij:

- $q_{m,rad}$: het waterdebiet door de radiator (in kg/h)
- Φ : het werkelijk afgegeven vermogen van de radiator (in W)
- 3600: een conversiefactor (in s/h)
- c : de specifieke warmtecapaciteit van water, neem vereenvoudigd 4200 J/kgK
- $\theta_{w,i}$: de ontwerpvertrekwatertemperatuur (aan de ingang van de radiator) (in °C)
- $\theta_{w,r}$: de ontwerpreturnwatertemperatuur (aan de uitgang van de radiator) (in °C).

Bij een tweepijpsnetwerk wordt meestal een globale aanvoer- en retourtemperatuur gekozen en kan men op basis van de vermogens van de verschillende afgifte-lichamen dus overal het debiet bepalen.

Indien men een **lage temperatuur opwekker wenst aan te sluiten op een bestaand éénpijpsnetwerk**, houdt men best rekening met een complexe regeling en bijhorende risico om een goed comfort te garanderen: een zone-regeling met thermostaatkranen wordt onmogelijk, bij andere specifieke oplossingen blijft het risico bestaan dat de laatste radiatoren te koud te staan.

Voor een **éénpijpsnetwerk** waarbij de afgifte-elementen in serie zijn geschakeld, wordt de retour van de eerste radiator gekoppeld aan de aanvoer van de volgende radiator. Het ringwater zal dus stapsgewijs, na elke radiator, afkoelen. Bij hoge regimetemperaturen kan dit in principe gecompenseerd worden door de radiatoren die verder op de éénpijpsring gelegen zijn, groter te dimensioneren. Dit is een iteratief berekeningsproces en een nauwkeurige berekening is noodzakelijk. Bij lage regimetemperaturen of bij lagere debieten riskeert de temperatuur voor de laatste radiatoren te laag te worden. Regeling wordt hierbij complex en een klassieke zoneregeling met thermostaatkranen of andere regelkranen wordt zelfs onmogelijk aangezien het debiet in de hele ring wordt verminderd. Eén ring met serie-schakeling blijft dus ook best in één zone. Indien dit niet het geval is plaatst men best specifieke kranen (zie Figuur 92) die een bypass bevatten en die het overtollige debiet rechtstreeks kunnen doorsturen naar de volgende in de rij. Dit is een oplossing voor de oververhitting in de buurt van de eerste radiatoren in de kring, maar kan niet voorkomen dat het te koud kan worden bij de laatste radiatoren. In het algemeen is een éénpijpsnetwerk omwille van de complexe regeling af te raden.



FIGUUR 92 Eénpijpsradiatorkraan met regelbare voedingsfactor. (Bron: Buildwise)

Een aantal aandachtspunten bij het herdenken van de afgiftekant van een installatie wanneer wordt overgegaan naar een lage-temperatuur systeem:

- Indien ervoor gekozen wordt in verschillende delen van het gebouw andere **afgifte-elementen te voorzien met verschillende watertemperatuur** (bv enkel op het gelijkvloers vloerverwarming, terwijl elders radiatoren behouden blijven), dan moeten die op een aparte verwarmingskring staan.
- Bij het bepalen van **nieuwe leidingtracés**, geldt dat de lengte en het aantal hulpstukken (bochten, kranen, enz) best beperkt worden omdat zij zorgen voor meer drukverliezen en een toename van het (hulp-) energieverbruik en de kosten. Leidingen buiten het beschermd volume zorgen voor warmteverlies. Om dit te beperken, worden deze leidingen best zo kort mogelijk gehouden en geïsoleerd.
- Bij een nieuwe installatie laat het tracé idealiter een gelijkmatige verdeling van de waterdebieten toe (bv symmetrisch opgebouwd rond centrale kolommen, evenwichtige spreiding van afgifte-elementen over de takken, enz). Daarnaast worden regelkranen voorzien om ervoor te zorgen dat elke tak van de distributie het nodige debiet krijgt. Waar de bestaande leidingen behouden blijven, heb je dus minder vrijheid om die optimalisatie uit te voeren omdat het tracé en de diameters vastliggen. In dat geval moet extra aandacht besteed worden aan het **inregelen van de installatie**, anders riskeren bepaalde afgifte-elementen onvoldoende debiet te krijgen (en dus onvoldoende vermogen te leveren).

Voor meer info i.v.m. design en dimensionering van een afgiftesysteem verwijzen we graag door naar [Dimensioneringsnota nr.14](#) van Buildwise.

Hieronder volgt een kort overzicht van de verschillende soorten afgifte-elementen en indien beschikbaar wordt er – in bijlage 5.1 - ook een inschatting gegeven voor het afgiftevermogen in functie van de geometrie en voor verschillende afgiftetemperaturen.

We maken een opdeling tussen radiatoren, convectoren en ventilo-convectoren, en vloerverwarming.

2.1.4 RADIATOREN

Radiatoren kunnen onderling erg verschillen qua materiaal, vorm en uitzicht. Ze bestaan in staal, gietijzer en aluminium en men heeft de keuze uit paneelradiatoren, ledenradiatoren of decoratieve radiatoren.

De warmteafgifte gebeurt door straling en convectie, naargelang het ontwerp van het toestel (vorm, afmetingen, convectiemogelijkheden), de opstelling en wijze van aansluiting, maar vooral ook van het verschil tussen de gemiddelde watertemperatuur en de omgevingstemperatuur. Fabrikanten leveren minstens de warmtevermogens voor het genormaliseerde temperatuurregime van 75/65/20°C.

In vergelijking met een convector biedt een radiator het voordeel dat de uitgestraalde energie voor een aangenaam warmtegevoel zorgt.

De snelheid waarmee een radiator op temperatuur komt, hangt af van zijn waterinhoud en thermische capaciteit. Over het algemeen kan men stellen dat paneelradiatoren een stuk sneller op temperatuur komen dan gietijzeren radiatoren.

Dankzij de grote verscheidenheid aan modellen, kleuren en materialen (staal, gietijzer, aluminium, enz.), bieden radiatoren bovendien een praktisch onbeperkt toepassingsdomein.

Paneelradiatoren

Dit type radiator is opgebouwd uit verschillende panelen. Elk paneel bestaat uit twee staalplaten, die een holle ruimte vormen waarin het verwarmingswater circuleert. Afhankelijk van het model kunnen de panelen voorzien zijn van ribben, wat de warmteoverdracht verbetert door convectie. Deze radiatoren zijn mogelijk voorzien van een omkasting, met een rooster bovenaan de radiator en panelen aan de zijkanten en voorzijde (zie Figuur 93). Dergelijke omkasting reduceert het afgiftevermogen wel enigszins.



FIGUUR 93. Stalen paneelradiatoren, al dan niet geribd en met en zonder omkasting.
(Bron: Buildwise)

Het model van de radiator wordt aangeduid met twee cijfers: het eerste cijfer geeft het aantal panelen aan en het tweede het aantal geribde panelen. Tabel 3 geeft de verschillende configuraties weer. De geometrische kenmerken van de paneelradiatoren zijn de volgende:

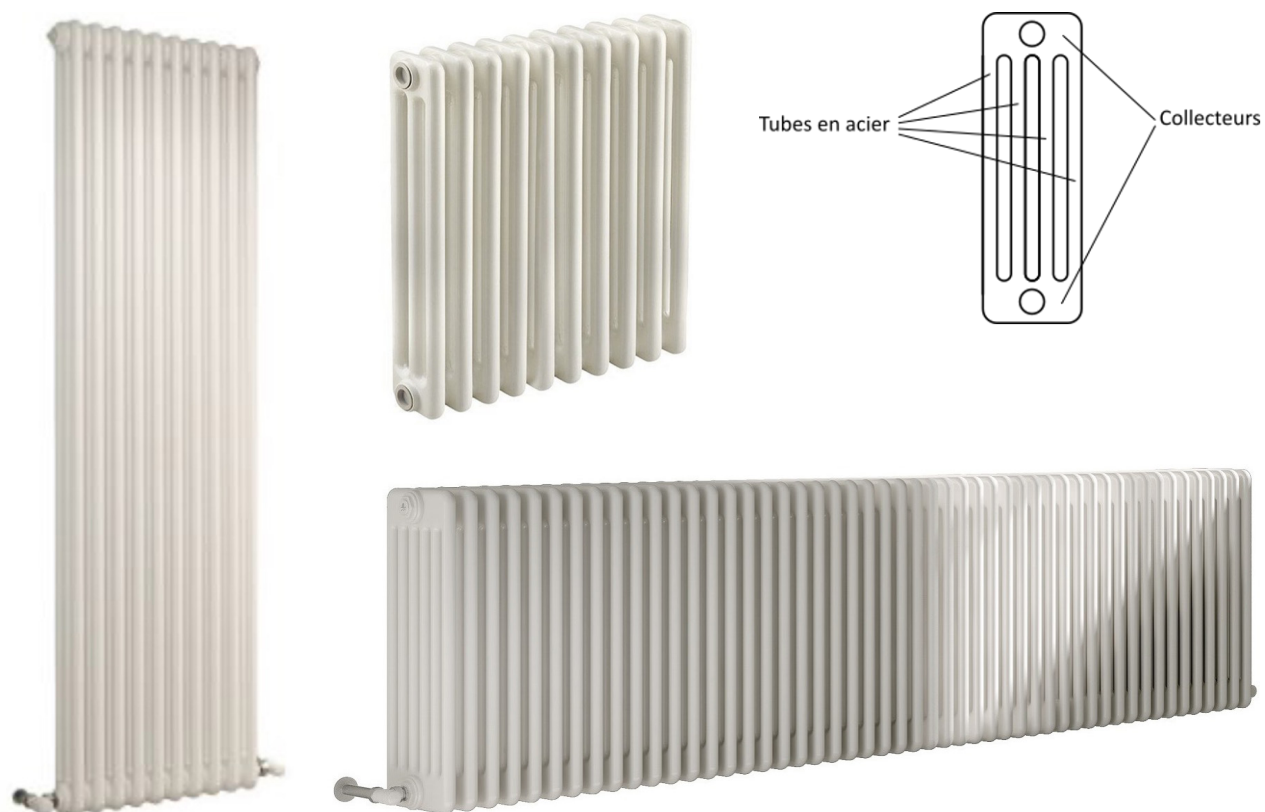
- lengte,
- hoogte,
- aantal panelen,
- aantal geribde panelen,

De grootte en inkeping van de ribben, en zelfs de afstand tussen de panelen spelen een belangrijke rol bij de convectie van warmte. Deze kenmerken zijn niet vermeld in de technische handleiding van de fabrikanten. Naargelang van de radiatormodellen zorgt dit voor verschillen en een zekere diversiteit in warmte-opbrengst voor de hierboven beschreven geometrische kenmerken.

Kolomradiatoren

Een ledenradiator (of kolomradiator) bestaat uit in serie gemonteerde voorgevormde gietijzeren of stalen elementen. Deze elementen of modules bestaan uit verticaal geplaatste buizen (d.w.z. kolommen) die verbonden zijn met een collector, zie Figuur 94. Afhankelijk van het model kunnen de modules twee tot zes kolommen bevatten. De hoogte van de radiator (tussen 200 mm en 3.000 mm) en het aantal modules (tot 50) bepalen het thermisch vermogen van de radiator.

De massa van gietijzeren radiatoren zorgt voor een aanzienlijk grotere thermische inertie. Bovendien weerstaan ze ook goed aan corrosie en bereiken dus een lange levensduur. Deze gietijzeren ledenradiatoren variëren echter ook meer in vorm en afwerking. Daarom beginnen we ons overzicht met de bepaling van het vermogen van de iets meer homogene groep van stalen kolomradiatoren. De afgifte van gietijzeren en aluminium radiatoren kan ook (ruwer) ingeschat worden op basis van de stalen varianten.



FIGUUR 94 Stalen buisradiatoren in verschillende afmetingen en vormen. (Bron: Buildwise)

De meeste stalen buisradiatoren zijn gebouwd volgens hetzelfde geometrische model (Figuur 95) en hebben daarom vergelijkbare thermische prestaties. Om het stralingsvermogen te bepalen, werd een analyse gemaakt van de technische gegevens van drie buisradiatoren: Arbonia tubulaire, Zehnder Charleston en Radson Delta H en V.

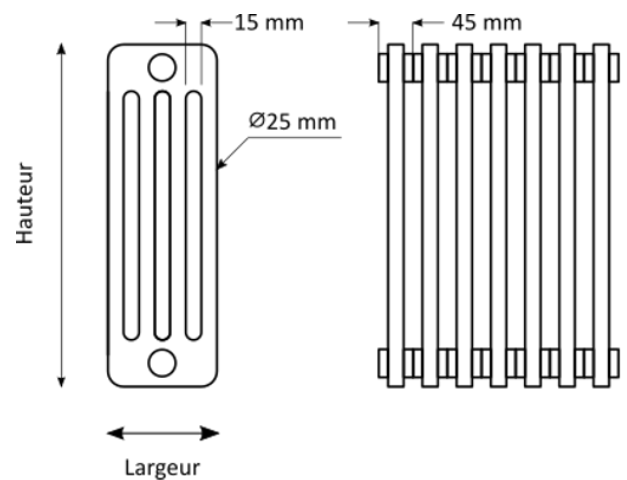
Sommige modellen hebben andere geometrische kenmerken en hun vermogen kan met deze fiche niet worden geschat (Figuur 96):

- Radiatoren voor zorginstellingen: 60 mm afstand tussen de modules voor een groter onderhoudsgemak en schoonmaak.
- Horizontale buizen (d.w.z.: handdoekdrogers)
- Specifieke geometrieën (d.w.z.: gebogen of hoekmodellen).

Het thermisch vermogen van een radiator hangt voornamelijk af van het contactoppervlak met de omgevingslucht en van de vorm ervan. De belangrijkste geometrische kenmerken van stalen buisradiatoren zijn de volgende:

- Het aantal kolommen
- De hoogte van de radiator
- Het aantal gemonteerde modules
- De grootte van de collector
- De diameter van de buizen
- De afstand tussen de buizen

FIGUUR 95. Geometrische kenmerken van een stalen buisradiator. (Bron: Buildwise)



FIGUUR 96. Voorbeelden van niet in deze fiche opgenomen modellen. (Bron: Buildwise)



Het aantal kolommen, de hoogte van de radiator en het aantal gemonteerde modules kan men makkelijk ter plaatse meten. De breedte van de collector, de diameter van de buizen en de afstand tussen de buizen moeten (min of meer) voldoen aan de waarden in Figuur 95. om deze fiche te kunnen gebruiken.

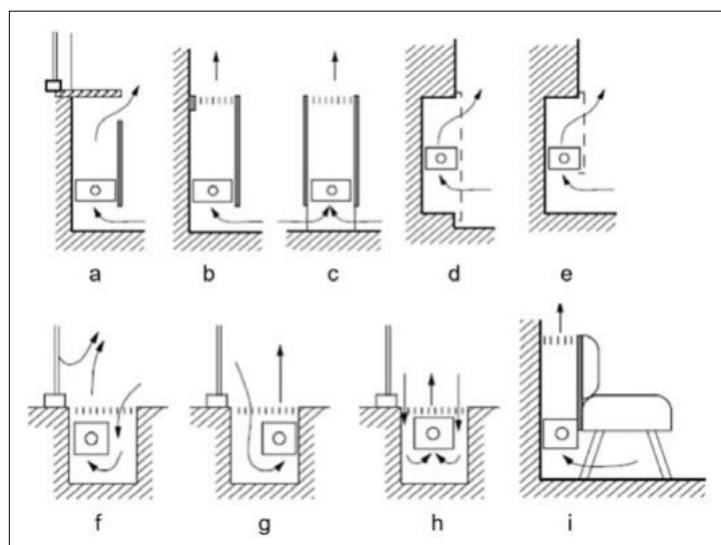
2.1.5 CONVECTOREN EN VENTILO-CONVECTOREN

Een convector bestaat uit een aantal in serie en/of parallel geplaatste dunne buizen met convectieribben die ingebouwd zijn in een omkasting, een plint of een put. Een omkasting bevordert de warmteafgifte dankzij het schouwefect dat gecreëerd wordt door de hoogte ervan (Figuur 97). De warmte-afgifte van een convector hangt af van het model, type, de afmetingen, maar voornamelijk van het temperatuurverschil tussen de gemiddelde watertemperatuur en de omgeving. Een convector geeft bijna al zijn warmte af door convectie, terwijl het stralingsaandeel beperkt blijft tot maximaal 5 %. Fabrikanten leveren minstens de warmtevermogens voor het genormaliseerde temperatuurregime van 75/65/20°C.



Jaga

FIGUUR 97. Convector ingebouwd in een omkasting (afbeelding Jaga)



FIGUUR 98. Mogelijke opstelling van convectoren: tussen vloer en venstertablet (a), tegen een muur (b), vrijstaand (c), in een muurnis (d,e), in een convectorput (f, g, h), achter een meubel (i). (Bron: Buildwise)

Figuur 98 geeft verscheidene mogelijke opstellingen weer voor convectoren. Net zoals bij radiatoren, wordt de warmteafgifte van een convector aanzienlijk beïnvloed door de aanwezigheid van meubelen of voorwerpen op, onder of in de buurt van het toestel, vermits deze de natuurlijke luchtcirculatie verhinderen. Bij opstelling in een put, dient deze te beantwoorden aan een aantal constructieve afmetingen teneinde de instroom van afgekoelde lucht en de uitstroom van opgewarmde lucht in voldoende mate te verzekeren.

Gelet op zijn kleine waterinhoud zal een convector bovendien sneller opwarmen dan een radiator, maar hij zal ook sneller afkoelen wanneer de warmtevraag stopt.

Ventilo-convectoren zijn uitgerust met ventilatoren die een gedwongen luchtcirculatie teweegbrengen en daardoor de warmteafgifte weliswaar verbeteren, maar tezelfdertijd ook in functie van de draaisnelheid ook een bijkomend elektrisch energieverbruik en geluid veroorzaken. Het elektrisch verbruik kan deels beperkt worden door het gebruik van een convector met miniventilatoren waarvan het toerental geregeld kan worden in functie van de verwarmingsbehoeften (Figuur 99). Dergelijke convectoren kunnen zelfs bij stilstand van de miniventilatoren nog voor een basiswarmteafgifte zorgen.

FIGUUR 99. Convector uitgerust met miniventilatoren (afbeelding Jaga) De nieuwste ontwikkelingen op het gebied van convectoren zijn gericht op het verhogen van de warmteafgifte bij lagere watertemperaturen (aanpassing van de vorm en de afmetingen van de convectieribben rond de buizen).



2.1.6 VLOERVERWARMING

Er bestaan verscheidene vloerverwarmingssystemen op de markt met elk hun specifieke kenmerken wat de samenstelling van de vloeropbouw betreft.

De hoogte van de vloeropbouw hangt af van het toegepaste systeem. Minimaal moet gerekend worden op een dikte van circa 7cm, waarbij rekening wordt gehouden met een minimale isolatiedikte, een droog systeem en de vloerafwerking. De stijging van het vloerniveau kan beperkt worden indien de bestaande vloerafwerking en chape worden uitgekapt. Dit bemoeilijkt de praktische uitvoering en plaatsing en de hoogte die daarmee kan gewonnen worden, hangt uiteraard af van de dikte van de bestaande chape.

Volgens het algemeen principe van deze systemen worden er in de vloer van een ruimte buizen geplaatst waardoor warm water stroomt ter verwarming van deze ruimte. Onder de buizen wordt een thermische isolatielaag voorzien om de warmteoverdracht naar beneden te beperken en zo de nuttige afgifte naar boven te maximaliseren.

Overeenkomstig de normen NBN EN 1264-1 en NBN EN 15377-1 kan men de verschillende vloerverwarmingssystemen rangschikken in zeven hoofdtypen (zie bijlage 5.2);

- Type A: Systemen met buizen in de dekvloer;
- Type B: Systemen met buizen onder de dekvloer;
- Type C: Systemen met buizen in de uitvullaag van de dekvloer;
- Type D: Systemen met verwarmingselementen (vlakke bouwelementen);
- Type E: Systemen met buizen in de vloer van ongewapend beton;

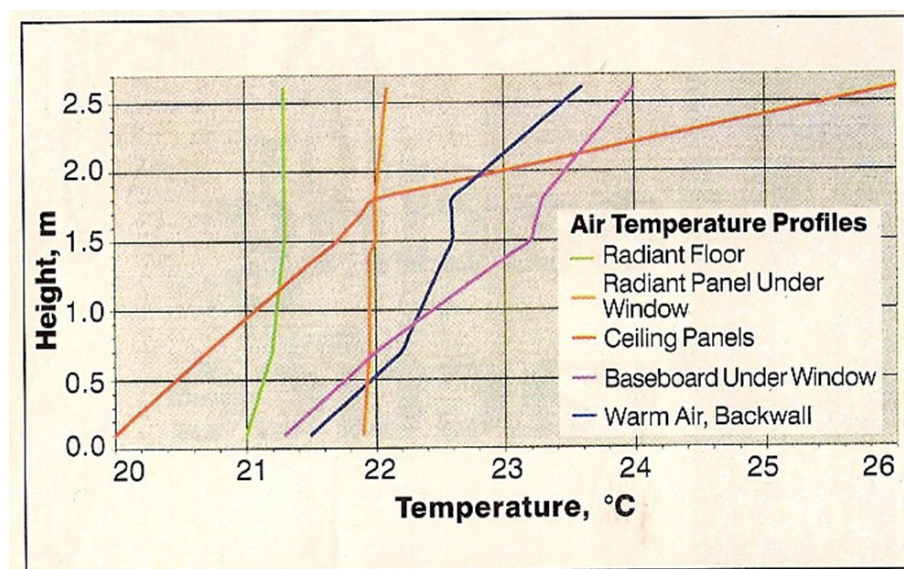
- Type F: Systemen met capillaire buizen in een laag van de binnenkant;
- Type G: Systemen met buizen in de houten vloerconstructie waarbij warmtegeleidingsplaten worden gebruikt.

Op de Belgische markt vinden we momenteel (2018) voornamelijk systemen A, B en G terug.

2.2 TECHNISCHE BEOORDELINGSCRITERIA

2.2.1 AFWEGING TUSSEN SYSTEMEN: COMFORT EN ENERGIE

In de praktijk krijgen we in de verwarmde ruimte dus altijd een wisselwerking tussen straling en convectie, maar kan de keuze van afgiftesysteem wel gevolgen hebben naar comfort en energie. In functie van de keuze van het warmte-afgiftelichaam en zijn plaats in de ruimte krijgen we minder of meer **stratificatie**, dat wil zeggen dat er een groter verschil in luchttemperatuur optreedt tussen de bovenste en de onderste luchtlagen.



FIGUUR 100. Stratificatie-ontwikkeling in een ruimte opgewarmd door verschillende types radiatoren, vloerverwarming, luchtverwarming en plafondverwarming. (Bron: Buildwise)⁶⁸

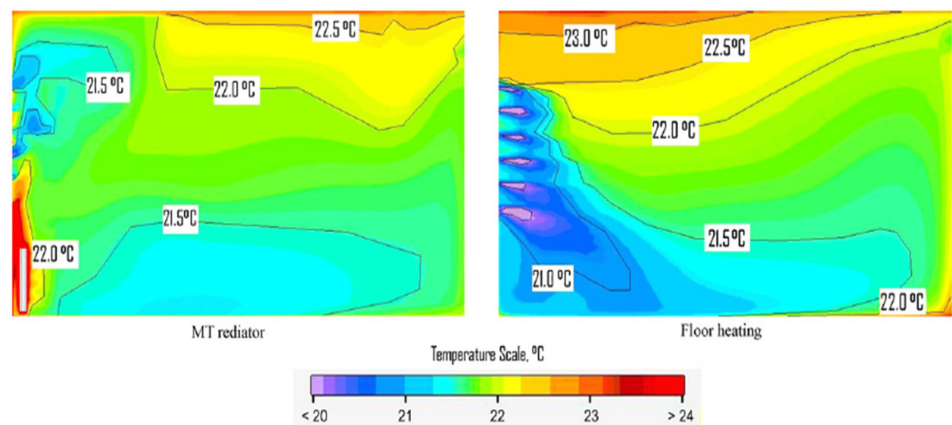
We zien in Figuur 100 een vergelijking van gemeten luchttemperatuurprofielen voor 5 verschillende afgiftesystemen. Deze test gaat uit van een gelijkaardig thermisch comfort voor een referentiepunt in het midden van de ruimte en op 0.7 meter hoogte (het middelpunt van een zittende persoon). Toch zien we grote verschillen in de gemeten profielen:

- De warmtestraling van de vloerverwarming zorgt er bv. voor dat de aanwezige personen in die ruimte de luchttemperatuur dikwijls een graadje lager zullen verkiezen. De waargenomen comforttemperatuur is immers een gemiddelde van de stralingstemperatuur en de luchttemperatuur in de ruimte.
- Bij de convectieve verwarmingssystemen ('baseboard' in de figuur staat voor een convector gecombineerd met 'warm air', dus luchtverwarming) zal de opgewarmde lucht zich echter opstapelen onder het plafond en moeten we eerst de bovenste luchtlagen warmer stoken vooraleer we ons dichterbij de vloer ook comfortabel voelen.
- Ook plafondverwarming zorgt voor een zeer groot temperatuurverschil overheen de hoogte.

Dit fenomeen van stratificatie speelt sterker naarmate het convectieve verwarmingsvermogen hoger is, wat ook wil zeggen dat het minder van belang wordt in zeer goed geïsoleerde, luchtdichte en zuinig geventileerde ruimtes. Hoe hoger de ruimte is, daarentegen, hoe meer dit effect speelt. Hoewel convectieve verwarmingssystemen zoals luchtverwarmingssystemen typisch zijn in kerken, kiest men in hoge ruimtes beter voor vloerverwarming. Voorbeelden hiervan zijn ook hoge trappenhallen of een ruimtes met mezzanine. Dit is effectiever op het vlak van energieverliezen, maar waarschijnlijk ook comfort.

We moeten echter oppassen met deze veralgemeende conclusie; bij keuze tussen afgiftesystemen in functie van comfort moet ook rekening gehouden worden met andere, meer lokale, fenomenen. **De eerste lokale comfortparameter is tocht.** Figuur 101 toont wat er gebeurt wanneer koude lucht infiltreert in de ruimte, bv. via een luchtlek raamkader. Aangezien bij een klassieke opstelling radiatoren en convectoren altijd onder het raam worden geplaatst, zal de warme luchtpluim van deze radiator of convector zich meteen vermengen met de koude infiltratielucht en de lucht die afgekoeld is tegen de koude buitenwand. Als de regeling van de radiator goed werkt, zal deze net genoeg warmte geven om deze koude te compenseren en door de goede menging van de warme en koude lucht zal dit leiden tot homogene temperaturen in de ruimte. In het geval van de vloerverwarming is er echter geen warmtepluim tegen het raam en zal de koude (infiltratie)lucht onverwarmd in de ruimte stromen (Figuur 101, rechter deel). Dit leidt dikwijls tot tocht en discomfort.

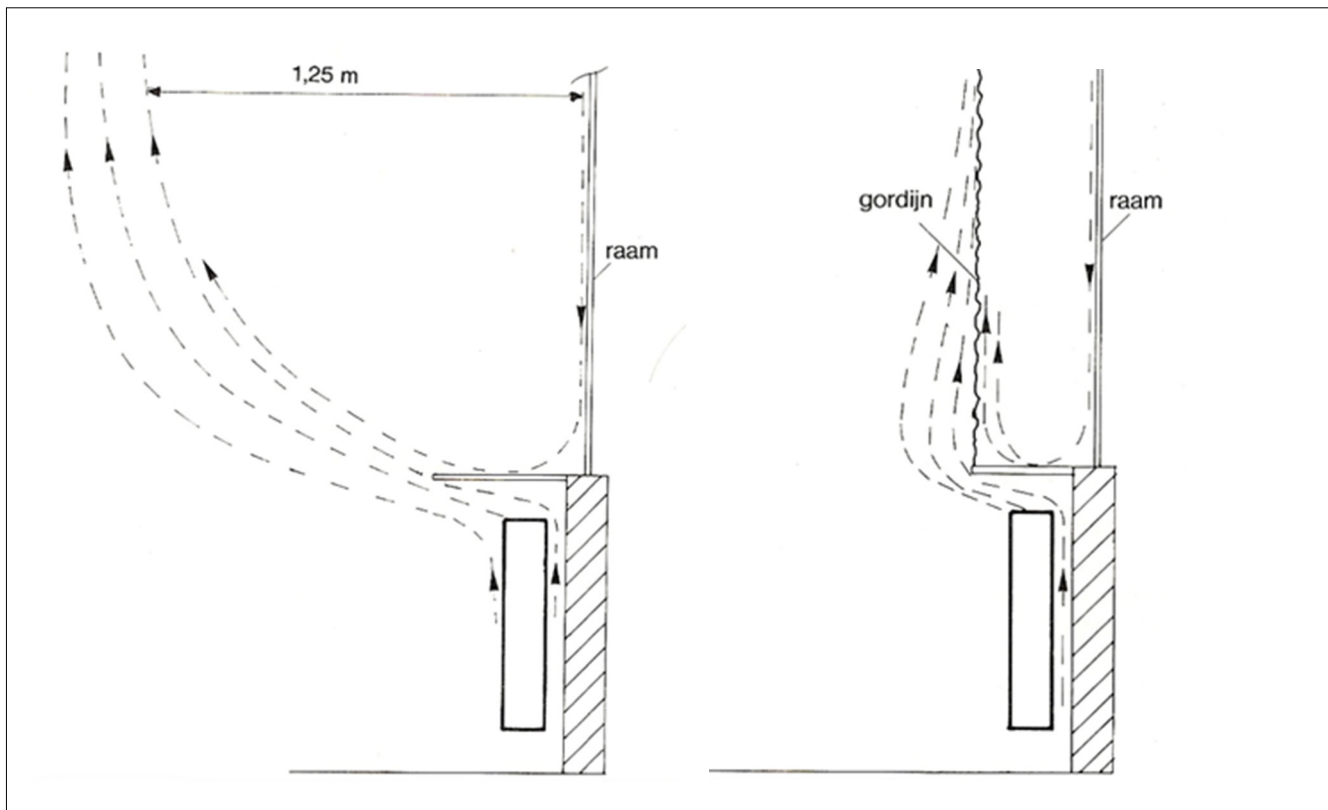
FIGUUR 101. Resulterende luchttemperatuur bij koudeluchtlekkage rond een raam en een radiatorverwarming onder dat raam (links) en een vloerverwarming (rechts).
(Bron: Buildwise)⁶⁹



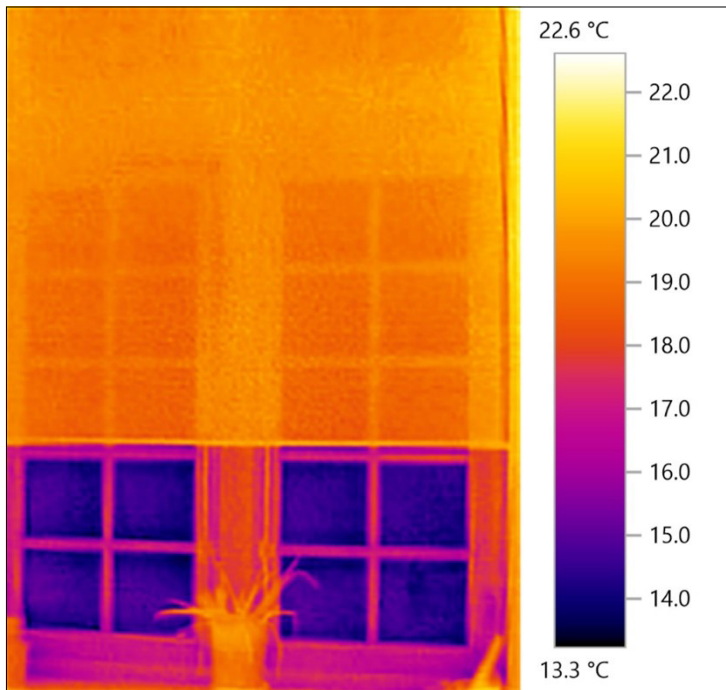
Omdat er bij vloerverwarming geen warmtepluim is tegen het raam om tocht te compenseren, wordt doorgaans **afgeraden om enkel vloerverwarming te voorzien in die zones waar zich luchtlekken of slecht geïsoleerde muurdelen bevinden**, bv. lekke raamprofielen, enkel glas, maar ook grote glaspartijen met dubbel glas, zeker als deze (gevel)hoog zijn. Een verdichting van het legpatroon onder deze koude vlakken volstaat dus niet altijd.

Ook bij **radiatoren of convectoren** onder een raam kunnen zich nog tochtverschijnselen voordoen als de **warmeluchtpluim niet krachtig genoeg** is om de vallende koude lucht volledig te compenseren, bijvoorbeeld wanneer de **installatie op lagere temperatuur** komt te werken. Dit kan eventueel verholpen worden door het plaatsen van een goed afgemeten gordijn dat tot op de vensterbank komt. Figuur 103 geeft een illustratie van een rolgordijn in een dergelijke situatie. Hierbij moet er wel genoeg ruimte blijven tussen radiator en vensterbank (en mag het gordijn ook niet te lang zijn) zodat de convectief afgegeven warmte ongehinderd in de ruimte kan blijven komen.

In veel historische panden vervullen **luiken** deze dubbele rol om enerzijds de vallende koude lucht te voorkomen en anderzijds de stralingstemperatuur van het verticale vlak gericht naar de bewoners te verhogen. In Figuur 104 worden verschillende types authentieke luikjes getoond.



FIGUUR 102 Tocht die ontstaat door de vallende koude lucht van een glaspartij (links) kan worden opgevangen door een welgeplaatst gordijn (rechts). (Bron: Buildwise)⁷⁰



FIGUUR 103. IR-opname van historiserende eiken ramen uit de jaren 1970 in een beschermde woning: de oppervlaktetemperatuur van de doorschijnende rolgordijnen ('screens') ligt ongeveer 5 graden hoger dan die van het enkel glas. Als de rolgordijnen bovendien tot op de vensterbank worden afgerold, helpt dit om een koude luchtstroom te vermijden. (Bron: Buildwise)



FIGUUR 104. Verschillende types authentieke houten (klap-)luiken aan de binnenzijde van ramen van een kasteel: hetzij over de gehele hoogte, hetzij enkel ter hoogte van de opengaande vleugels, al dan niet gecombineerd met gordijnen. (Bron: Buildwise)

Een ander aandachtspunt is dat er bij stralingsverwarming opgepast worden met **heterogene stralingstemperaturen**. Figuur 105 toont dat een kouder plafond (of warmere vloer) veel beter wordt verdragen dan straling van een warm plafond. Dit limiteert de maximale afgifte van een plafondverwarming in sterke mate (maximaal temperatuurverschil 7°C ten opzichte van de vloer). Bij vloerverwarming kunnen we echter gaan tot een temperatuurverschil van 17°C, en mag de vloeroppervlaktetemperatuur in principe dus 17°C hoger zijn dan de temperatuur van het plafond. De oppervlaktetemperatuur van wandverwarming of grote radiatoren mogen zelfs tot 33°C warmer zijn dan de tegenoverliggende wandtemperatuur.

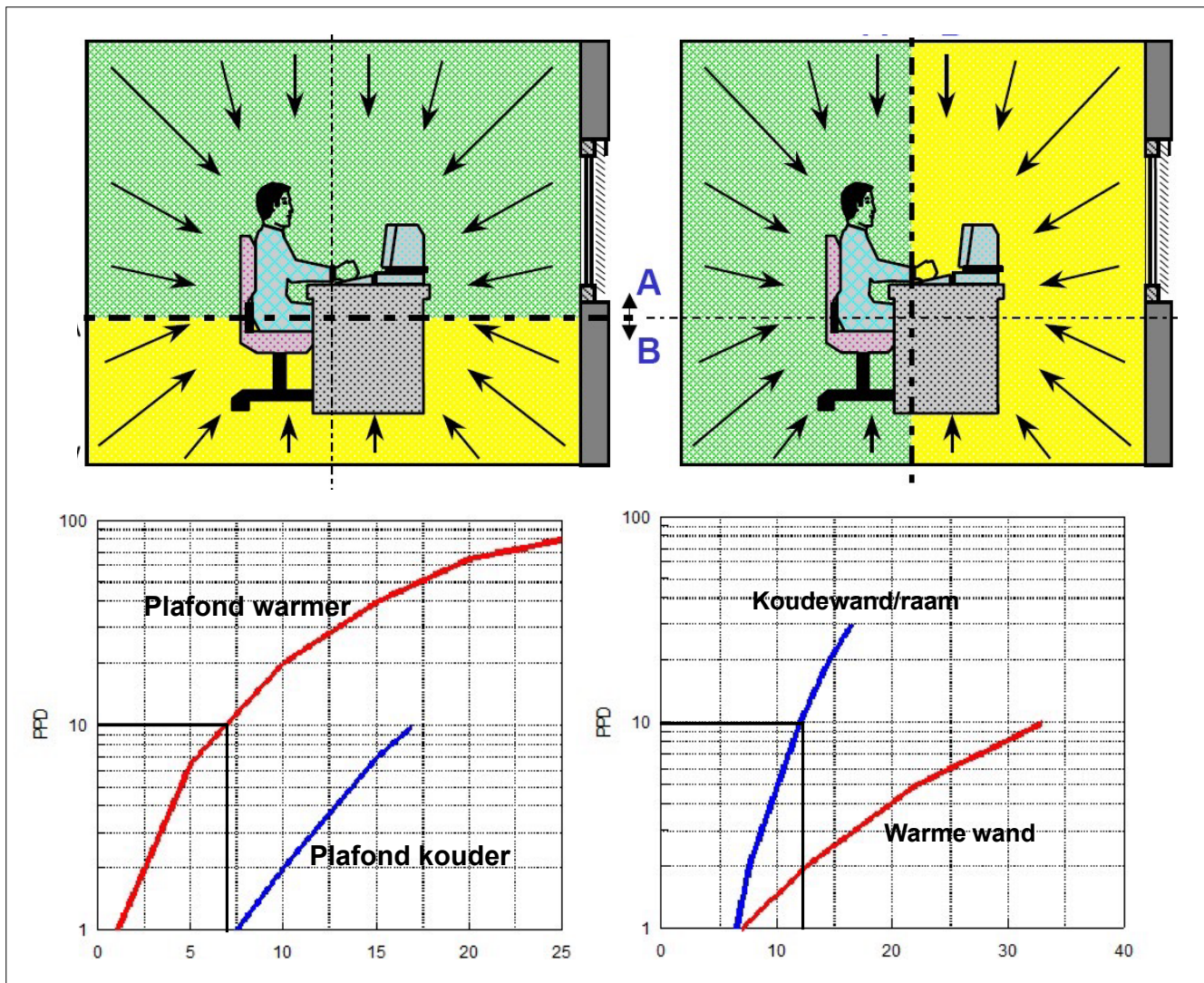


Achter radiatoren/convectoren en zeker onder vloerverwarming moet isolatie voorzien worden.

Vloerverwarming is dan echter weer gelimiteerd in het afgiftevermogen door de maximale **contacttemperatuur** van 29°C, aangezien de bewoners rechtstreeks met hun voeten in contact kunnen komen met deze vloeroppervlakte. Enkel in randzones, bv. aan de ramen, mag men tot 35°C gaan.

Ten laatste mogen we natuurlijk ook de **warmteverliezen aan de achterzijde van het afgiftelichaam** niet vergeten. Er zijn extra geleidingsverliezen doorheen de muur achter een radiator of convector. Deze verliezen kunnen verkleind worden door het deel van de muur achter het afgiftelichaam zo goed mogelijk te isoleren, bijvoorbeeld met ultraperformante isolerende materialen, en het oppervlak reflecterend te maken voor IR-straling. De praktische uitwerking kan bestaan uit een reflecterende folie of een verf met lage emissiviteit.

Ook bij oppervlakteverwarming kan veel energie verloren gaan, bijvoorbeeld naar de volle grond of de kelder onder een vloerverwarming. Het potentieel aandeel van verloren energie ligt meestal hoger dan bij een radiator gezien het veel grotere contactoppervlakte van dit afgiftelichaam met de buitenomgeving. Daarom moeten deze systemen ook altijd voldoende geïsoleerd worden als ze in contact staan met de buitenomgeving of aangrenzende onverwarmde ruimten, wat vaak tot praktische bezwaren leidt omdat men de vloerpas moeilijk kan verhogen.



FIGUUR 105 Maximale temperatuurverschillen (horizontale as) in horizontale en verticale vlak m.b.t. het thermisch comfort qua stralingsasymetrie. Op verticale as is het 'Predicted Percentage of Dissatisfied' weergegeven, wat een maat is voor discomfort. (Bron: Buildwise)⁷¹

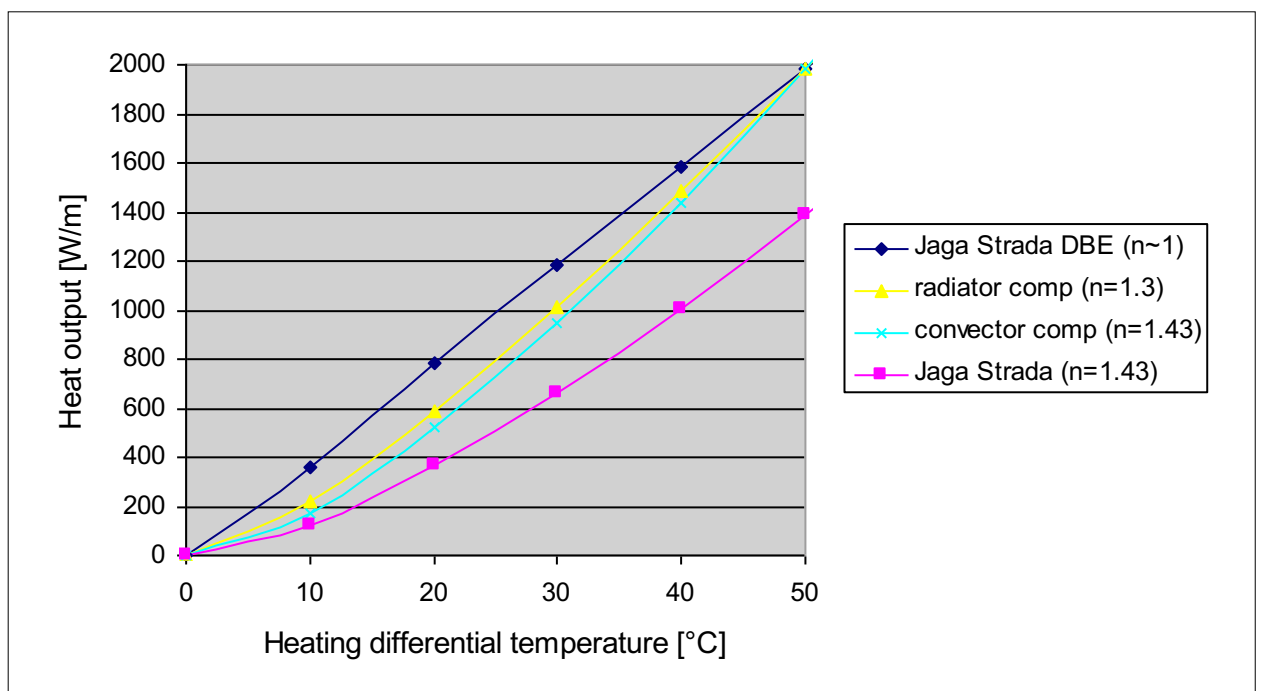
2.2.2 AFWEGING TUSSEN SYSTEMEN: VERMOGEN EN REGIMETEMPERatuur

Zowel de grootte van straling als convectie wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen het warmtewisselend oppervlak en de ruimte(-oppervlakken of -lucht). Bij eenzelfde temperatuurverschil zullen verschillende types afgifte-elementen dus een verschillend vermogen afgeven. Dit vermogen is een exponentiële functie van het temperatuurverschil en kan vrij éénvoudig berekend worden, mits de exponent gekend is. In Tabel 3 wordt bijvoorbeeld de radiatorexponent gegeven voor een aantal types radiatoren. Hoe kleiner de exponent, hoe efficiënter de warmte-afgifte, en dus hoe hoger het vermogen voor eenzelfde temperatuurverschil.

TABEL 3 / Gemeten radiatorexponent voor 7x7 verschillende plaatradiatoren

Merk nr.	Typen van plaatradiatoren						
	10	11	20	21	22	32	33
1	1,332	1,334	1,338	1,335	1,334	1,336	1,334
2	1,238	1,266	1,296	1,301	1,291	1,305	1,298
3	1,273	1,246	1,283	1,299	1,290	1,299	1,294
4	1,276	1,273	—	1,301	1,307	1,304	1,310
5	1,288	1,291	1,289	1,290	1,290	1,290	1,290
6	1,275	1,262	1,266	1,299	1,294	1,321	1,311
7	1,270	1,280	1,270	—	1,310	—	1,310
Gemiddelde	1,279	1,279	1,290	1,304	1,302	1,309	1,307
Algemeen gemiddelde 1,296							

Tussen radiatoren en (ventilo)-convectoren is er een groter verschil in exponent dan tussen de radiatoren onderling. In Figuur 106 wordt bijvoorbeeld het afgiftevermogen van een ventilo-convector van een in Vlaanderen courant merk vergeleken met het afgiftevermogen van een radiator en een convector. Daarnaast toont deze grafiek ook een duidelijke daling van het vermogen bij een dalend temperatuurverschil tussen het afgifte-element en de ruimte.



FIGUUR 106. Vergelijking afgiftevermogen in functie van het temperatuurverschil (afgifte-element – ruimte) voor een radiator en (ventilo) convector. ©Jaga

In het kader van energie-efficiëntie en de integratie van duurzame systemen zoals warmtepompen is het belangrijk om naar zo laag mogelijke regimetemperaturen te gaan. Dit leidt dus steeds tot een verlaging van de warmte-afgifte in vergelijking met (klassieke) hogere afgiftetemperaturen. Wanneer bij de keuze voor een warmtepomp in een niet optimaal geïsoleerd erfgoedgebouw, de bestaande radiatoren of convectoren worden behouden, riskeren zij bij de lagere regimetemperatuur niet meer voldoende vermogen te leveren om het gebouw te verwarmen.

Om na te gaan of het vermogen bij lagere temperatuur nog voldoende is, moet het benodigde vermogen berekend worden via een **warmteverliesberekening** en vergeleken met het afgiftevermogen bij de verlaagde temperatuur. In de componentfiches per afgiftesysteem wordt aangegeven hoe het afgiftevermogen in functie van het type afgiftesysteem en de afgiftetemperatuur kan berekend worden.

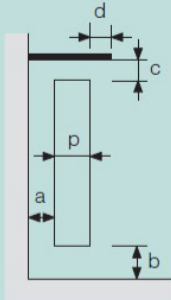
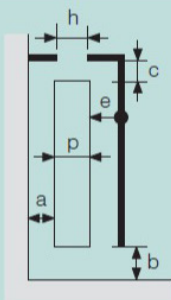
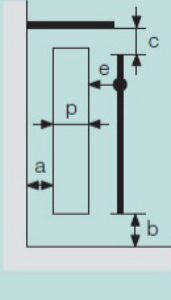
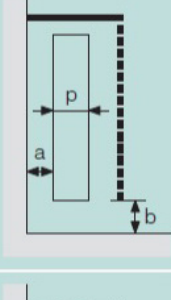
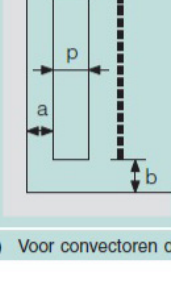
In bepaalde gevallen kan het vermogen bij lagere temperatuur nog volstaan, bijvoorbeeld indien de afgifte-elementen oorspronkelijk overgedimensioneerd waren en/of indien het gebouw bijkomend geïsoleerd werd. In erfgoedgebouwen waar weinig extra isolatie kan voorzien worden en het vermogen bij een lagere afgiftetemperatuur ontoereikend is, kan dit gecompenseerd worden via een aantal strategieën:

- Warmtewisselend oppervlak verhogen
 - Grotere elementen (breder en hoger), maar dit is in de praktijk soms moeilijk aangezien de beschikbare breedte en hoogte onder een raam (eventueel in een nis) al volledig is gebruikt.
 - Bijkomende radiatorplaten of convectorbuizen plaatsen (diepere radiatoren/convectoren).
 - Meer convectievinnen aanbrengen (convecto-radiator of convector)
 - Overstap naar oppervlakteverwarming (direct veel meer oppervlakte beschikbaar)
- Gemiddelde temperatuur verhogen bij dezelfde aanvoertemperatuur
 - Debiet verhogen (zo wordt het regime bv. 55/50 in plaats van 55/35)
- Kiezen voor afgiftesystemen met een efficiëntere afgifte. Een lagere exponent n in de radiatorformule (zie in het begin dan deze paragraaf) komt overeen met efficiëntere warmteafgifte.
 - Vloerverwarming heeft een lage exponent (+/- 1.1)
 - Een radiator heeft doorgaans een lagere exponent (+/- 1.3) dan een convector (+/- 1.4)
 - Maar ventilatoren plaatsen, die de convectieve luchtstroom kunnen ondersteunen zelfs bij zeer lage temperaturen, resulteert in een exponent van bijna 1.

2.2.3 CORRECTIE VAN AFGIFTE BIJ NIET-GENORMEERDE OPSTELLING

Afgifte-elementen kunnen 'weggewerkt' zijn in het interieur. Het kan bij het vernieuwen van een installatie een bewuste keuze zijn om dit zo te houden of om nieuwe, moderne afgifte-elementen op die manier weg te werken. De afgifte-elementen kunnen 'weggewerkt' zijn achter een omkasting met ventilatie-openingen onder en boven, achter een gaas of rooster. In dat geval moet rekening gehouden worden met een verminderde warmte-afgifte. Zelfs wanneer ze onder een venstertablet of in een nis geplaatst zijn, is dit het geval. Ze staan immers niet voor een vlakke muur zoals ze getest zijn in de testcabine van de fabrikant. De correctiefactoren in onderstaande tabel kunnen helpen bij het inschatten van het verlaagd vermogen, of bij het ontwerp van een omkasting die zo weinig mogelijk impact heeft.

TABEL 4 / Correctiefactor op de warmte-afgifte van radiatoren voor een aantal afwijkende opstellingswijzen⁷²

Opstellingswijze van de radiator (*)	Dimensionale eisen	Voorwaarden voor c	Correctiefactor f (-)	
	<ul style="list-style-type: none"> • $a \geq 5$ cm • $b \geq 10$ cm • $c \geq p$ • $d \leq 3$ cm 	$c > 12$ cm	$f = 1$	
		$6 \leq c \leq 12$ cm	$f = 0,97$	
		$4 < c < 6$ cm	$f = 0,95$	
	<ul style="list-style-type: none"> • Onder een vensterbank met een opening • Met een scherm vóór de radiator • De eventuele roosters in de inlaat- en uitlaatopeningen voor lucht moeten een nuttige sectie vertonen die minstens overeenstemt met 85 % van de totale sectie 	<ul style="list-style-type: none"> • $a \geq 5$ cm • $b \geq 10$ cm • $h = p$ • $e \geq 2$ cm 	Geen eisen voor c	$f = 0,90$
	<ul style="list-style-type: none"> • Onder een vensterbank of in een nis • Met een scherm vóór de radiator • De eventuele roosters in de inlaat- en uitlaatopeningen voor lucht moeten een nuttige sectie vertonen die minstens overeenstemt met 85 % van de totale sectie 	<ul style="list-style-type: none"> • $a \geq 5$ cm • $b \geq 10$ cm • $c \geq p$ • $e \geq 2$ cm 	$c > 12$ cm	$f = 1$
		$6 \leq c \leq 12$ cm	$f = 0,97$	
		$c = p/2$	$f = 0,80$	
	<ul style="list-style-type: none"> • Onder een vensterbank of in een nis • Verborgen door een roosterwerk met grote mazen 	<ul style="list-style-type: none"> • $a \geq 5$ cm • $b \geq 10$ cm 	Geen eisen voor c	$f = 0,70$
	Volledig ingebouwd in een roosterwerk met grote mazen	<ul style="list-style-type: none"> • $a \geq 5$ cm • $b \geq 10$ cm 	Geen eisen voor c	$f = 0,85$

(*) Voor convectoren dient de opstelling steeds te gebeuren volgens de instructies van de fabrikant. In voorkomend geval geldt dat $f = 1$.

2.3 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

IMPACT OP HET INTERIEUR		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Vervangen of toevoegen van radiatoren	Radiatoren vervangen of toevoegen kan nodig zijn indien de bestaande radiatoren onvoldoende vermogen leveren bij lage watertemperatuur. Dit heeft uiteraard impact op het interieur.	Radiatoren kunnen weggewerkt worden in een omkasting en in dat geval eventueel vervangen door (ventilo-)convectoren die meer vermogen per oppervlakte kunnen afgeven. Het omkasten zelf leidt wel tot verminderde afgifte. (zie Tabel 4)
Vervangen of toevoegen van radiatoren.	Indien (later) binnenisolatie wordt geplaatst, kan het verplaatsen van de radiatoren dit vergemakkelijken.	Rekening houden met het plaatsen van binnenisolatie kan een lock-in vermijden.
Aansluiten nieuwe radiatoren op het verdeelsysteem	Nieuw geplaatste radiatoren moeten aangesloten worden op het bestaande verdeelsysteem. Meestal zijn de bestaande leidingen in opbouw en goed zichtbaar. Indien leidingen moeten doorgetrokken worden, moet een tracé van leidingen mogelijk zijn (geen ondoordringbare obstakels of plinten, lambriseringen e.d. waarvan het uitzicht moet bewaard blijven).	Bij het inpassen van nieuwe radiatoren wordt rekening gehouden met de bereikbaarheid van het verdeelsysteem. Bestaande radiatoren kunnen ook vervangen worden door radiatoren met hoger vermogen, zodat geen nieuwe radiatoren moeten toegevoegd worden.
Plaatsen vloerverwarming en vloerbekleding	Een houten vloer in combinatie met vloerverwarming vraagt de nodige aandacht, tapijten zijn af te raden.	Oppervlakken zonder hout/tapijt zijn te vermijden (wand- of plafondverwarming zijn ook mogelijk). Anders verdienen lage temperatuur radiatoren of convectoren voorkeur.
Plaatsen vloerverwarming en opbouwhoogte	Hoewel éénmaal geplaatst weinig impact op het interieur, moet bij het plaatsen van vloerverwarming rekening worden gehouden met een verhoging van het vloerniveau. Dit kan consequenties hebben op het interieur, bv. vervangen binnendeuren, behoud van lambriseringen.	Toepassen van systemen met erg lage opbouwhoogte. Wand- of plafondverwarming kan een valabel alternatief zijn. Nadeel van deze systemen zijn een lager verwarmingsvermogen (maar qua koelvermogen scoren ze dan weer beter) en een moeilijker plaatsing.

IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
n.v.t	n.v.t	n.v.t

ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Rendement	Het afgifterendement kan verhoogd worden door een reflecterende folie achter de radiator te plaatsen. Het vermogen kan verhoogd worden door ventilatoren toe te voegen.
Vervangen of toevoegen van radiatoren	Tochtverschijnselen aan plaatselijk slecht geïsoleerde muren of vensters, of bij luchtlekken aan vensters, kunnen vermeden worden door een correcte plaatsing van radiatoren of convectoren.
Vervangen van radiatoren	Indien lage temperatuur radiatoren worden geplaatst ter vervanging van radiatoren die op hoge temperatuur werkten ter plaatse van slecht geïsoleerde muren of vensters, kan dit leiden tot tochtgevoelens of discomfort door het wegvallen van de warme luchtpluim. De vensters vervangen, afkitten of de muur isoleren kan dit probleem oplossen. Indien dit niet mogelijk is, kunnen gordijnen tot op de vensterbank het comfort verbeteren.
Plaatsen vloerverwarming en isolatie	Bij het plaatsen van vloerverwarming, moet aan de achterzijde (onder de vloer) geïsoleerd worden. In geval van een vloer boven kelder kan het (kruip)kelderplafond geïsoleerd worden.
Plaatsen vloerverwarming en comfort	Indien vloerverwarming wordt geplaatst ter vervanging van radiatoren ter plaatse van slecht geïsoleerde muren of vensters, kan dit leiden tot tochtgevoelens of discomfort door het wegvallen van de warme luchtpluim. Indien mogelijk vervangen van vensters/beglazing, afkitten, isoleren muren. Eventuele randzones met hogere temperaturen is toegelaten, maar dit is beperkt (35°C max oppervlaktetemperatuur i.p.v. 29°C)

2.4 MANIEREN OM NIEUWE OF GERICUPEREEDE AFGIFTELICHAMEN TE INTEGREREN

Nieuwe afgifte-lichamen kunnen esthetisch geïntegreerd worden in een erfgoedinterieur door:

1. Ze weg te werken achter een paneel dat goed in het interieur past;
2. Roosters voor de elementen te plaatsen in een aangepast materiaal. In feite zijn dit hedendaagse herinterpretaties van omkastingen die vaak in de bestaande toestand aangetroffen worden;
3. Ze te lakken in een kleur die niet stoort bij rest van het interieur

De opstelling van de radiatoren is in de regel vrij in gangen en minder representatieve ruimten en omkast in de salons en kamers.

Indien de afgifte-lichamen worden weggewerkt, moet rekening gehouden worden met verminderde afgifte (zie paragraaf 'Correctie van afgifte bij niet genormeerde opstelling').



FIGUUR 107. Convectoren weggewerkt achter geschilderde panelen in het Huis de Vrije Schipper in Gent. Foto: Beeldbank Onroerend Erfgoed.



FIGUUR 108. Nieuwe convectoren weggewerkt achter houten roosters van vergelijkbare tint als de omgevende houten elementen. Foto: Agentschap Onroerend Erfgoed.



FIGUUR 109. Nieuwe vlakke radiator gelakt in dezelfde kleur als het schilderwerk van de muren in de villa Voortman in Gent. Foto: Agentschap Onroerend Erfgoed.



FIGUUR 110 Voorbeelden van historische radiatoromkastingen in woning Roelants in Lennik en Hôtel Riez in Molenbeek. Foto's: Agentschap Onroerend Erfgoed (linksboven, rechtsboven en linksonder); Bron foto rechtsonder: <https://hotelriez.be/interieur>.



2.5 RECUPERATIE VAN BESTAANDE AFGIFTE-ELEMENTEN EN DISTRIBUTIENETWERK

De aanwezigheid van zuurstof in het water kan leiden tot corrosie en bijgevolg lekken (bij roestvrij staal, koper, aluminium) en/of afzettingen en slib (in geval van ijzerhoudende materialen zoals niet gelegeerd staal of gietijzer). Zuurstof zit bijvoorbeeld in het bijvulwater, of kan door onderdruk in de installatie terecht komen.

Als geen noemenswaardige afzettingen voorkomen, kan de nieuwe opwekker geplaatst worden. Het strekt tot aanbeveling om een deeltjesafscheider te voorzien.

Indien wel rekening moet gehouden worden met afzet-

tingen, kan men uiteraard best eerst de oorzaken aanpakken. Men kan vervolgens overwegen om een warmtewisselaar te plaatsen tussen de opwekker en warmteverdelinstallatie zodat de opwekker gescheiden is van de rest van de installatie. Een andere mogelijkheid is om een grondige reiniging van de installatie te laten uitvoeren.

Het uitvoeren van een diagnose om de huidige staat van de installatie te achterhalen, de mogelijke oorzaken en remediëringen voor slibvorming enz. worden uitvoering beschreven in Technische Voorlichting 278 van Buildwise.



Om een goede werking te garanderen van een nieuwe warmtepomp die wordt aangesloten op een bestaand afgiftesysteem, moet de kwaliteit van het systeemwater gecontroleerd en gevierwaard worden (zie Technische Voorlichting 278 van Buildwise).

Vanuit erfgoed kan men er voor kiezen om bestaande **gietijzeren radiatoren**, die typisch voorkomen sinds het einde van de 19^e eeuw, te recupereren in het erfgoedinterieur. Deze radiatoren zijn vaak erg zwaar en worden als comfortabel ervaren omdat ze voornamelijk stralingswarmte afgeven. Ze kunnen zeker hun plaats hebben in een nieuwe installatie.

Een eerste uitdaging is het bepalen van het **vermogen** van deze radiatoren. De kolomradiator is de meest voorkomende en bestaat in allerlei vormen en afmetingen, maar technische fiches of afgiftetabellen zijn niet voorhanden. Gietijzeren radiatoren bestaan uit aan elkaar geschakelde secties (van 1 tot 9 kolommen). Extra secties zorgen voor een hoger afgiftevermogen. In de **componentfiche voor kolomradiatoren** zijn éénvoudige vuistregels opgenomen om **op basis van het aantal secties en de afmetingen ervan het vermogen van een radiator in te schatten**.

Een tweede aandachtspunt is de toestand van de bestaande radiatoren. Indien uit inspectie blijkt dat de oude radiatoren beschadigd zijn (beschadigingen van de radiator zelf of van de deklaag, water- of roestvlekken onder de radiator die wijzen op lekken,...), kan ervoor geopteerd worden ze te demonteren en te **herstellen**. Dit gebeurt best door gespecialiseerde firma's. Bij twijfel over de lekdichtheid, kan een druktest uitsluitel geven. Indien ze voorzien zijn van een loodhoudende verf, wordt deze best verwijderd. Dat gebeurt door chemisch decaperen. Daarna krijgen ze een nieuwe roestwerende grondlaag met daarboven één of meerdere lagen nieuwe lak (hoe donkerder en hoe matter, hoe hoger de emissiviteit en dus hoe meer stralingswarmte). Daarnaast moeten de radiatoren ook aan de binnenkant gereinigd en slibvrij gemaakt worden om een vlotte doorstroming te kunnen garanderen. Ze kunnen voorzien worden van nieuwe thermostatische kranen en aansluitingen voor integratie in een nieuw leidingnetwerk.

2.6 SAMENVATTING

	RADIATOR	CONVECTOR	VENTILO-CONVECTOR	VLOERVERWARMING
Comfort	Straling + convectie, kan lokale koudeval compenseren	Risico op stratificatie maar kan wel lokale koudeval compenseren	Risico op stratificatie maar kan wel lokale koudeval compenseren	Stralingswarmte, minder stratificatie in hoge ruimten, maar oppassen voor tocht
opwarmtijd	gemiddeld	Heel kort	Heel kort	lang
Temperatuur-gevoeligheid	Hoog	Zeer hoog	laag	minder
plaats	Onder raam, eventueel omkasten	Onder raam, eventueel omkasten	Onder raam, eventueel omkasten	niet in het zicht, mogelijke impact door verhoging vloerniveau
akoestisch	+	+	-	+

3 / VENTILATIESYSTEMEN

We ventileren gebouwen om een gezond en comfortabel binnenklimaat voor de bewoners te realiseren. In gebouwen verontreinigen mensen, hun activiteiten (bv. koken) en materialen de binnenlucht. De belangrijkste polluenten zijn vast (grof of fijn stof, pollen) of gasvormig (waterdamp, CO₂, geur, vluchtige organische stoffen, radon). Deze verontreinigingen worden afgevoerd door vervuilde binnenlucht te vervangen door verse buitenlucht. De verse buitenlucht bevat ook polluenten, zij het in mindere mate dan de binnenlucht, en wordt bij voorkeur eerst gefilterd voor die wordt binnengebracht.

3.1 BASISPRINCIPES

3.1.1 BEWUSTE VERSUS ONBEWUSTE LUCHTVERVERSING

Het beperken van verontreinigingen in de binnenlucht kan bewust of onbewust gebeuren. **Onbewuste luchtverversing** wordt in- en exfiltratie genoemd. Het is luchtverversing die onder de invloed van wind en temperatuurverschillen gebeurt via kieren en spleten in de gebouwschil. Er is geen menselijke interactie bij in- en exfiltratie: het fenomeen is oncontroleerbaar en sterk afhankelijk van de buitenomstandigheden (windsnelheid, beschutting van het gebouw, het temperatuurverschil tussen binnen en buiten). Dat betekent meteen ook dat de in- en exfiltratie soms te hoog (bij stormwind bijvoorbeeld), en soms te laag is (bij windstil weer en kleine temperatuurverschillen tussen binnen en buiten). In- en exfiltratie, in combinatie met het (bewust) openen van ramen is de traditionele manier om binnenluchtkwaliteit te realiseren. Het systeem is eerder ineffectief: het is onvoldoende controleerbaar, leidt vaak tot tocht, en de vervanging van warme binnenlucht door koude buitenlucht veroorzaakt een belangrijk warmteverlies. In deze strategie is het onmogelijk de binnengebrachte buitenlucht te filteren. Ook kan het openen van ramen zorgen voor buitenlawaaihinder.

3.1.2 VENTILATIESTRATEGIE

Bewuste ventilatie wordt zo ontworpen dat vervuilsbronnens zo snel mogelijk naar buiten afgevoerd worden. Daarom gebeurt de toevoer van verse lucht in ruimten waar de vervuiling beperkt is (leefruimten, slaapkamers). Deze (licht verontreinigde) lucht stroomt door naar ruimten met sterke vervuiling (toilet, badkamer, keuken) waar de afvoer gebeurt.

De toevoer en afvoer van bewuste ventilatie kan op een natuurlijke of een mechanische manier gebeuren. Natuurlijke toevoer kan gebeuren via raam-of muurroosters, natuurlijke afvoer gebeurt via schouwen. Mechanische systemen vereisen een kanaalsysteem voor toe- en/of afvoer. In woningbouw variëren de kanaaldiameters typisch tussen 100 en 200 mm.

Als er in een ruimte toevoer of afvoerlucht gebeurt, dan moet de deur van die ruimte uitgerust zijn met een doorstroomopening, die toelaat dat de lucht tussen ruimtes wordt uitgewisseld.



FIGUUR 111: Integratie van een luchtafvoeropening door aanpassing van de positie van het deurblad (Huis van Hamme, Brugge, foto Onroerend Erfgoed)

3.1.3 PIEKVENTILATIE VERSUS BASISVENTILATIE

We beogen via ventilatie verontreinigingen af te voeren. Basisventilatie, of hygiënische ventilatie, is erop gericht om in de eerste plaats de verontreinigingen door mensen (CO₂, damp, geuren) en meubilair (vluchtige organische stoffen (VOS)) af te voeren. De daarvoor vereiste ventilatiedebieten worden vastgelegd in de energieprestatieregelgeving. Om ook onverwachte interne verontreinigingspieken (verf, droging na overstroming, zeer hoge bezettingen) te kunnen opvangen moeten ook piekventilatiemogelijkheden worden voorzien. Voldoende opengaande ramen in een ruimte zorgen ervoor dat ook de piekverontreinigingen kunnen afgevoerd worden.

Een goede piekventilatie kan bijdragen tot een aangenaam zomercomfort. Hierbij is het belangrijk dat ramen of openingen 's nachts op een veilige manier open kunnen, dat ze voldoende open kunnen, dat de opening regelbaar is en dat er een insectenwering aanwezig is om muggen buiten te houden.



In sommige historische deuren kan het raam open in de deur en zorgt een smeedwerk voor de inbraakveiligheid. In historische gebouwen zijn de ramen meestal opengaand. Behoud de opengaande delen maximaal voor piekventilatie en onderhoud.

3.1.4 BASISVENTILATIESYSTEMEN

Bewuste basisventilatie is verse luchttoevoer en afvoer van verontreinigde lucht die systematisch wordt aangepakt. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen systemen die gebaseerd zijn op een natuurlijke aandrijving (temperatuurverschillen of winddrukverschillen) en systemen die mechanisch worden aangedreven (ventilatoren). Zo ontstaat een matrix met vier systemen: systeem A met natuurlijke toevoer en afvoer, systeem B met mechanische toevoer en natuurlijke afvoer, systeem C met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer, en systeem D met mechanische toevoer en mechanische afvoer. Deze systemen worden beschreven in de norm NBN D50-001 'Ventilatievoorzieningen in woongebouwen' (1991), in STS P 73-1 Systemen voor basisventilatie in residentiële toepassingen (2015) en in de praktijkgids van Buildwise, Technische voorlichting 258, 'Praktische gids voor de basisventilatiesystemen voor woongebouwen' (2016). Deze systemen vormen ook de basis voor de beoordeling van de energieprestatie van gebouwen (EPB). Onderstaande tabel geeft de beslissingscriteria weer voor de systeemkeuze.

TABEL 5 / Keuzematrix voor de traditionele ventilatiesystemen. bron: Buildwise Technische Voorlichting 258, 'Praktische gids voor de basisventilatiesystemen voor woongebouwen'.

Criteria	Systeem A Natuurlijke toevoer en afvoer	Systeem B Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer	Systeem C Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	Systeem D Mechanische toevoer en mechanische afvoer
Luchtkwaliteit				
Controle van de debieten	2 natuurlijke componenten	1 natuurlijke en 1 mechanische component	1 natuurlijke en 1 mechanische component	2 mechanische componenten
Energieverbruik				
Elektriciteitsverbruik	Geen ventilator	Eén enkele ventilator	Eén enkele ventilator	Twee ventilatoren
Verwarmingsbehoeften	–	–	–	Warmteterugwinning mogelijk
Vraaggestuurde ventilatie mogelijk met alle systemen				
Comfort				
Risico op koude luchtstromingen (tocht)	Via de natuurlijke-toevoeropeningen	Hoog (er is vaak een voorverwarming nodig)	Via de natuurlijke-toevoeropeningen	Beperkt (in geval van warmteterugwinning)
Risico op lawaai van buitenaf	In de droge en de natte ruimten	In de natte ruimten	In de droge ruimten	Beperkt
Risico op systeemlawaai	Geen	In de droge ruimten	In de natte ruimten	In de droge en de natte ruimten
Kosten				
Investing	Zeer variabel, naargelang van het geval en de gewenste prestaties			
Gebruik	Hangt voornamelijk af van de verwarmingsbehoeften en, in mindere mate, van het elektriciteitsverbruik (zie hoger)			
Onderhoud	Beperkt	Gemiddeld	Gemiddeld	Hoog

3.1.5 CENTRALE VERSUS DECENTRALE VENTILATIE

De laatste jaren worden ook systemen ontwikkeld waarbij het ventilatiesysteem niet centraal wordt geplaatst, maar wel lokaal ruimte per ruimte. In sommige gevallen zijn deze systemen ook met een warmtewisselaar uitgerust. Deze systemen laten toe om de kanalen die nodig zijn in een systeem C of D, weg te laten, maar vereisen voor elk lokaal een toe- en afvoerrooster in de gevel. Geluidproductie van de ventilatoren in het lokaal en onderhoudsmogelijkheden zijn hier belangrijke kwaliteitsaspecten.



Historisch zijn soms ventilatietoeveropeningen in gevels beschikbaar. Typisch gaat het om relatief grote openingen met een buitenrooster en een beperkte mogelijkheid tot handmatige regeling van de grootte van de toevoeropeningen. De controleerbaarheid van de doorstroom is klein, maar tochtklachten worden meestal beperkt door de plaatsing van een radiator ter hoogte van de opening, soms met het risico van bevriezen van de radiator. Deze gevelopeningen kunnen gebruikt worden als toevoeropening voor een decentraal ventilatiesysteem.



FIGUUR 112: Historisch aanwezige luchttoevoerroosters in de gevel.
Bron: Onroerend Erfgoed



FIGUUR 113: Inbouw van ventilatiekanalen in een schouw (hotel D'Hane Steenhuyse in Gent, Foto: Onroerend Erfgoed)



FIGUUR 114: Inbouw van ventilatiekanalen in een schouw (hotel D'Hane Steenhuyse in Gent, Foto: Onroerend Erfgoed)

3.1.6 INNOVATIEVE VENTILATIESYSTEMEN VOOR WONINGRENOVATIE

Recent werden voor een renovatiecontext alternatieve innovatieve systemen voorgesteld door Buildwise in de publicatie 'Innovatieve ventilatiesystemen voor woningen in een renovatiecontext' (2023). Bij de renovatie van een woning is het niet altijd eenvoudig om een ventilatiesysteem te installeren dat in overeenstemming is met de huidige Belgische ventilatienorm NBN D 50-001. Zo is er vaak onvoldoende ruimte voor de ventilatiekanalen en voor de ventilatiegroep bij een systeem D, of voor de toevoeropeningen in de ramen bij een systeem C.



De innovatieve systemen passen op dit ogenblik nog niet in de Belgische ventilatienorm, noch in de Vlaamse energieprestatieregelgeving. Ze kunnen nochtans wel aanleiding geven tot minder ingrijpende maatregelen om de binnenluchtkwaliteit te verzekeren.

TABEL 6 / Keuzematrix voor de innovatieve ventilatiesystemen. bron: Buildwise Technische Voorlichting 258, 'Praktische gids voor de basisventilatiesystemen voor woongebouwen'.

		D cascade	C hal centraal	C hal 1 zone slaapkamers	C hal decentraal
Fiche		3.1	3.2	3.3	3.4
Werkingsprincipe	Type toevoer	mechanisch	natuurlijk	natuurlijk	natuurlijk
	Betrokken ruimten	slaapkamers	hal	hal	hal
	Type mechanische afvoer	centraal	centraal	centraal slaapkamers	decentraal
	Betrokken ruimten	dienstruimten (en leefruimten)	alle	alle	alle
Voordelen		zeer performant (kwaliteit binnenlucht, comfort, energie)	performant (kwaliteit binnenlucht, comfort, energie)	voordelige oplossing	bepaalde werken binnenin de woning
		verschillende woningen (bv. meerdere slaapkamers)	verschillende woningen (bv. meerdere dienstruimten)	mogelijke fasering van de werken	mogelijke fasering van de werken
Geschikt voor een gesloten gescheiden woonkamer?		varianten mogelijk	varianten mogelijk	varianten mogelijk	varianten mogelijk
Gevoelig voor de luchtdichtheid van de gebouwschil?		nee	nee	nee	nee

3.2 AANDACHTSPUNTEN IN ERFGOEDWONINGEN

 IMPACT OP DE BUITENSCHIL		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Ventilatie-openingen	<p>Verse luchtname en afblaas van vervuilde lucht zijn vereist.</p> <p>Een centraal ventilatiesysteem vereist een verse luchttoevoer en afvoer. Een decentraal systeem vereist per lokaal een toe- en afvoer in de gevel/dak</p>	<p>Een muur- of dakrooster, keldergat of Engelse koer kan dienstdoen als ventilatie-opening. De afblaasopeningen zijn gelijkaardig en bevinden zich op voldoende afstand van de openingen voor verse luchtinname (om contaminatie te vermijden).</p> <p>Voor een ventilatiesysteem C kunnen toevoeropeningen in of rond het bestaande schrijnwerk geïntegreerd worden.</p>

 IMPACT OP HET INTERIEUR		
ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Positie ventilatie-unit	De opstelplaats vraagt een connectie met buiten (verse luchtname en afblaas) en een goede aansluiting op een verticale schacht voor de luchtverdeling.	De unit wordt omwille van de geluidoverlast best in een afzonderlijke ruimte geplaatst ver van geluidgevoelige ruimtes zoals een slaapkamer, op een plaats die afgescheiden is van de onderdelen waar zich waardevolle erfgoedelementen bevinden.
Afmetingen ventilatie-unit	De afmetingen van de vrije ruimte voor een ventilatie-unit, inclusief geluiddempers zijn gemiddeld 90x190m ² van vloer tot plafond voor een ééngezinwoning en 1,5 à 2 m ² vloer om vlot de unit te kunnen onderhouden.	
Kanalensysteem in de woning	<p>Er zijn in een systeem D twee ventilatietrajecten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • verse luchttoevoer naar de weinig vervuilde ruimten, • afzuiging uit vochtigere, vervuilde ruimten. <p>In de deuren tussen deze ruimten zijn doorstroomopeningen vereist (bvb. spleten onder de deuren).</p> <p>In een systeem C is er alleen een kanaaltracé voor afzuiging.</p>	<p>Inplanting gebeurt zo vroeg mogelijk in het ontwerpproces om integratie mogelijk te maken</p> <p>Er moet een oordeelkundige inplanting van de verticale kanaaltracés gebeuren zodat de moeilijker horizontale tracés zo beperkt mogelijk blijven. Een verticale schacht centraal in de woning verdient de voorkeur om de horizontale trajecten zoveel mogelijk te vermijden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indien aanwezig kunnen bestaande kanalen of schouwen benut worden om verticale tracés te herbergen. • Verloop van leidingen tussen kamers gebeurt bij voorkeur ter hoogte van de deuropeningen • Horizontale tracés kunnen ook lokaal in een verlaagd plafond gebeuren, of indien mogelijk, in een houten vloerroostering. <p>Doorstroomopeningen kunnen in het deurkader geïntegreerd worden</p> <p>Schade aan historische afwerkingen dient vermeden te worden en doorboringen van muren (voor aanvoer van lucht of afvoer van gassen) worden beperkt tot een minimum.</p>



IMPACT OP OMGEVING EN PERCEEL

ASPECT	AANDACHTSPUNT	STRATEGIE
Geluidhinder (maatregelen)	Openingen voor verse luchtname of afblaas kunnen een geluidbron voor de burens of het eigen perceel vormen. De VLAREM reglementering geluid volgen is een goede richtlijn.	Geluiddempende maatregelen zijn mogelijk (akoestische dempers).



ONTWERPERSAANBEVELINGEN (ENERGETISCH, COMFORT EN UITVOERING)

ASPECT	AANDACHTSPUNT
Energie	Een ventilatiesysteem D met warmterugwinning recupereert de warmte uit de woning waardoor er minder warmteverliezen optreden en het energieverbruik voor verwarming beperkt wordt. Vraaggestuurde ventilatie beperkt het elektrisch energieverbruik voor de ventilatoren en het energieverbruik voor verwarming.
Comfort	Een ventilatiesysteem C met natuurlijke toevoerroosters boven de ramen kan in de winter tochtklachten opleveren. Deze roosters vormen ook geluidlekken naar buiten waardoor het omgevingsgeluid beter hoorbaar is binnen. Een akoestisch rooster werkt maar vormt nog steeds een geluidlek. Een warmtewisselaar in een ventilatiesysteem D verwarmt de lucht voor waardoor het systeem warmere lucht inblaast en tochtklachten kunnen vermeden worden. Voldoende geluiddempers na de regelkleppen in het ventilatiesysteem dragen bij tot een systeem met weinig geluidproductie.

3.3 ENERGETISCHE ASPECTEN

Als in de winter de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur dan leidt de toevoer van verse buitenlucht en de afvoer van verontreinigde lucht tot een warmteverlies. Omgekeerd betekent ventilatie bij een buitentemperatuur die hoger is dan de binnentemperatuur een warmtewinst, en eventueel een verhoogde kans op (zomerse) oververhitting.

3.3.1 WARMTERECUPERATIE

Als aan de afvoerlucht eerst warmte kan onttrokken worden, dan kan dit warmteverlies tijdens het stookseizoen sterk beperkt worden. Deze warmte-onttrekking gebeurt in een stelsel D⁷³ typisch via een lucht-lucht warmtewisselaar op de positie waar de toegevoerde lucht en de afgevoerde lucht elkaar kruisen. Deze werkt soms via het kruisstroomprincipe, of via het efficiëntere tegenstroomprincipe. Sommige warmtewisselaars wisselen naast warmte ook vocht uit tussen de twee luchtstromen waardoor in de wintersituatie de relatieve vochtigheid in de woning minder snel daalt, wat problemen met geïrriteerde ogen of luchtwegen vermindert. Een ander type warmtewisselaar, een warmtewiel, recupereert ook vocht, maar er bestaat er ook een risico op geuroverdracht tussen de twee luchtstromen. Dit type is voor een woning minder geschikt omdat bijvoorbeeld keukengeuren gemakkelijk naar de slaapkamers worden doorgegeven.



FIGUUR 115: gerecupereerde uilenpan in de buitenafwerking van een rooster voor afvoerlucht in een hellend pannendak (systeem D). (conciërgewoning kasteel van Vichte, Erfgoed en Visie)

Ook in een systeem C is warmterecuperatie mogelijk, maar dan wel volgens een ander principe. In dat geval onttrekt een lucht-water warmtepomp de warmte aan de afvoerlucht en slaat de warmte typisch op in een voorraadvat voor sanitair warm tapwater. Dat is energetisch minder efficiënt dan een passieve lucht-lucht warmtewisselaar in een systeem D. Sommige fabrikanten noemen deze aanpak een systeem E. Voor de systemen A en B gebeurt onderzoek naar de mogelijkheden voor warmterecuperatie, maar commerciële producten hiervoor zijn niet beschikbaar.



In een systeem D is het belangrijk om de warmtewisselaar niet heel het jaar door te gebruiken. Als de buitenluchttemperatuur hoog is, is het opportuun om de buitenlucht naast de warmtewisselaar te leiden ('een bypass'). De buitentemperatuur waarbij dit 'bypass' systeem wordt geactiveerd, hangt af van de energieprestatie van de woning. Hoe beter de energieprestatie van de woning, hoe lager de buitentemperatuur waarbij de 'bypass' moet geactiveerd worden. Als in lente of herfst al oververhitting in de woning voorkomt, dan is dit veelal te wijten aan een te hoge activatietemperatuur voor de bypass.

3.3.2 VRAAGSTURING

Het beperken van het winterse energieverlies gekoppeld aan de ventilatie, kan ook gebeuren door niet meer te ventileren dan strikt noodzakelijk. Omgekeerd kan het tijdens de zomer op momenten van een hittegolf nuttig zijn om bewuste ventilatie tijdelijk te beperken om het risico op oververhitting te beperken. Standaard systemen hebben een driestandenschakelaar om het ventilatiedebiet aan de vraag aan te passen. De laagste stand levert een minimale ventilatie om emissies van bouwmaterialen en meubilair af te voeren tijdens afwezigheid. De middelste stand wordt gebruikt voor een lage bezetting, terwijl de hoogste stand zo gedimensioneerd is dat bij een normale bezetting van de woning een goede binnen luchtkwaliteit wordt gegarandeerd. Bij meer geavanceerde systemen gebeurt 'vraagsturing' waarbij het ventilatiedebiet automatisch wordt bijgestuurd in functie van de heersende binnen luchtkwaliteit.

3.3.3 HULPENERGIE

Bij mechanische systemen vertegenwoordigt het elektrisch verbruik van de ventilatoren (1 ventilator in systeem C, 2 ventilatoren in systeem D) een belangrijk elektrisch verbruik. Dit verbruik kan beperkt worden door een goed ontwerp van het kanalenet, door vraagsturing, en door het gebruik van energiezuinige EC-ventilatoren.

3.3.4 ENERGIEPRESTATIEREGELGEVING- VENTILATIE

Voor een gezond binnenklimaat zijn minimale ventilatievoorzieningen verplicht binnen het kader van de Vlaamse energieprestatieregelgeving. Om een goed werkend ventilatiesysteem te creëren, is echter meer nodig dan voldoen aan die minima. De overheid heeft in het kader van de energieprestatieregelgeving een kwaliteitskader voor ventilatie-installaties uitgerold. Een goed werkend ventilatiesysteem is namelijk het resultaat van een goed ontwerp, een goede plaatsing en een degelijk onderhoud.

De Vlaamse Overheid baseert zich voor het kwaliteitskader op STS P 73-1 Systemen voor basisventilatie in residentiële toepassingen. Dit kader geldt voor nieuwbouw (en gelijkwaardige werken) en voor ingrijpende energetische renovaties van woongebouwen. Het geldt niet voor renovaties maar vormt er wel de code van goede praktijk.

De aangifte gebeurt in twee stappen:

- voor de start van de werkzaamheden: een ventilatievoorontwerp dat geïntegreerd wordt in de startverklaring;
- na de werkzaamheden: een ventilatieprestatieverslag dat geïntegreerd wordt in de EPB-aangifte.

Het ventilatievoorontwerp moet ervoor zorgen dat de ruimtelijke integratie van de ventilatie-unit en het kanalenstelsel in een voldoende vroeg stadium gebeurt.

De aangifteplichtige moet een ventilatieverslaggever aanstellen die ervoor zorgt dat het ventilatievoorontwerp en het ventilatieprestatieverslag worden opgemaakt. De EPB-verslaggever neemt de gegevens uit de verslagen van de ventilatieverslaggever over in de EPB-aangifte. De EPB-verslaggever kan eventueel ook aangesteld worden als ventilatieverslaggever. Dat is echter geen verplichting. De architect, ventilatie-installateur of een advies- of studie-bureau kunnen fungeren als erkende ventilatieverslaggever als ze geslaagd zijn in het verplichte examen georganiseerd door BCCA.

De ventilatieverslaggever stelt een ventilatievoorontwerp op voor de aangifteplichtige, voor de start van de werken. Dat vermeldt het gekozen ventilatiesysteem en geeft de componenten en de ruimtelijke impact ervan weer.

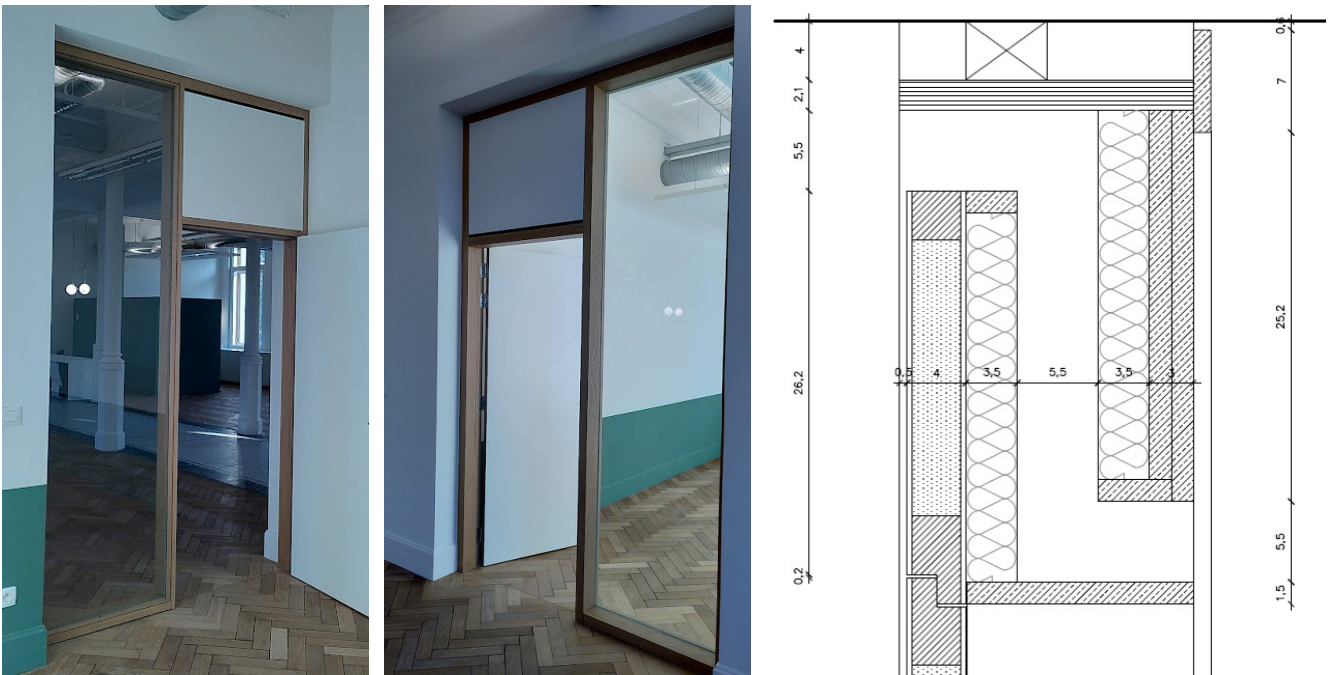
Het ventilatieprestatieverslag maakt deel uit van de EPB-aangifte. Na de plaatsing van het ventilatiesysteem wordt het ventilatiesysteem ingeregeld. De installateur regelt de ventielen zo in dat bij de maximale instelling van het centrale ventilatiedebiet in de ventilatie-unit het beoogde debiet in elke ruimte wordt gerealiseerd. De inregeling wordt gecontroleerd door de ventilatieverslaggever die de resultaten opneemt in het ventilatieprestatieverslag.

Dit is ook een geschikt moment om het achtergrondlawaai van de installatie te controleren. Er zijn geen wettelijke verplichtingen rond het installatiegeluid van ventilatievoorzieningen voor hygiënische ventilatie, maar de code van de goede praktijk is opgenomen in de Belgische norm NBN S 01-400-1 'Akoestische criteria van woongebouwen'. Deze norm specificeert onder andere een maximaal installatiegeluid van 25 dB in slaapkamers (klasse A, hoge kwaliteit) of 28 dB in slaapkamers (klasse C, basiskwaliteit).

In het inregelrapport geeft de installateur aan wat de werkelijk gemeten toe- en afvoerdebieten in de verschillende ruimtes zijn. Aan de hand van dit rapport kan men afleiden of het ventilatiesysteem al dan niet in balans is.

3.4 AKOESTISCHE ASPECTEN

Ventileren heeft ook akoestische aspecten: opengaande ramen of raam/muurroosters vormen akoestische lekken. Op locaties met een belangrijke geluidbelasting (van autoverkeer, treinen of vliegtuigen, of van industrie) kunnen de roosters in de gevel soms een onaanvaardbare geluidisolatiekwaliteit van de gevel betekenen (zelfs bij akoestisch verbeterde roosters). Ook de ventilatoren en het stromingsgeluid van de kanalen en roosters van een systeem C en D kunnen leiden tot hinder, in het bijzonder in akoestische gevoelige ruimten zoals slaapkamers. Debiëten regelen we via regelkleppen gevolgd door een geluiddemper met een beperkte fijnregeling via de ventilatorroosters. Ook doorstroomopeningen zoals spleten onder deuren vormen akoestische lekken. Dat kan opgelost worden via geluiddempende roosters in een deur of een akoestische demper boven een deur.



FIGUUR 116: Veeartsenijschool, Anderlecht (foto: urban.brussels) met akoestische demper boven binnendeur. Zie de spleet boven op het linker binnenbeeld, en de spleet onder in het rechter binnenbeeld. De rechtse figuur toont de doorsnede van de demper (foto's: Daidalos Peutz).





De wetgeving rond akoestiek in residentiële gebouwen legt grenzen op aan het achtergrondlawaai vanwege installaties. Het is cruciaal om het achtergrondniveau bij oplevering te controleren, bij een ventilatiedebiet dat overeenkomt met de debieteisen in de energieprestatie-eisgeving (het nominale debiet). Een ventilatie-installatie die te lawaaierig is (in het bijzonder in de slaapkamers) wordt dikwijls uitgeschakeld en verliest zo zijn nut.

3.5 TECHNISCHE AANDACHTSPUNTEN

3.5.1 IMPACT VAN DE LUCHTDICHTHEID VAN DE GEBOUWSCHIL

Warmterecuperatie op de ventilatielucht is alleen zinvol als de in- en exfiltratie doorheen de gebouwschil laag is, mits hierop geen warmterecuperatie mogelijk is. Als de in- en exfiltratiestroom hoog is, dan wordt de warmterecuperatie op de bewuste ventilatie kortgesloten door de parallelle stroom. Een luchtdichtheidsproef (blowerdoortest) laat toe de luchtdichtheid van de schil te beoordelen, én bovendien de positie van de luchtlekken te identificeren. Deze test wordt typisch gebruikt voor nieuwbouwwoningen, maar is ook zinvol voor het voorbereiden van luchtdichtheidsmaatregelen in bestaande gebouwen. Enkele vaak voorkomende luchtlekken zijn het ontbreken van een luchtscherm in een hellend dak, de vloer- en dakaansluitingen van wanden, oude ramen (zowel de aansluiting tussen ruwbouw en schrijnwerk, als de aansluiting tussen vaste en opengaande delen van het schrijnwerk), leidingdoorboringen (elektrische leidingen, watertoevoer- en afvoerleidingen) en open schouwen. Technische voorlichting 255 Luchtdichtheid van gebouwen (Buildwise) gaat dieper in op deze problematiek. Vlaanderen werkte een kwaliteitskader uit voor de uitvoering van luchtdichtheidsproeven⁶⁴.

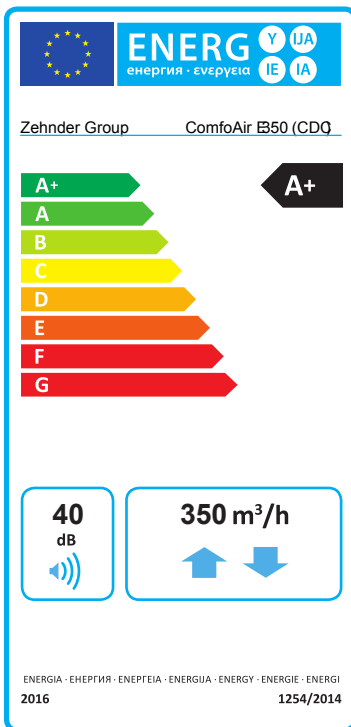
Het resultaat van een luchtdichtheidsproef (blowerdoortest) is een n_{50} -waarde. Dit is het aantal luchtwisselingen van de woning bij een luchtdrukverschil van 50 Pa. Bestaande woningen hebben typisch een n_{50} -waarden tussen 6 en 12. Het is aangewezen deze waarde te verlagen tot $n_{50} = 1$ voor de toepassing van een ventilatiesysteem D, en tot een n_{50} -waarde van 2 voor de toepassing van een ventilatiesysteem C.

3.5.2 BUITENLUCHTVERVUILING

In een ventilatiesysteem D bestaat de mogelijkheid tot het filteren van de toegevoerde verse lucht. Een ventilatiesysteem D kan daarom aangewezen zijn als de buitenluchtkwaliteit laag is. Deze filtering gebeurt standaard met een fijne filter, maar kan in sommige systemen vervangen worden door een fijnstof- en pollenfilter. Op locaties langs drukke wegen, of voor personen met een pollenallergie kan dit een zinvolle keuze zijn. Deze extra fijne filters zorgen wel voor een belangrijke verhoging van het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren⁶⁵.

3.5.3 TECHNISCHE KWALITEITSASPECTEN

Ventilatieunits komen met een (Europees) energielabel waarop twee cruciale parameters worden aangegeven: het geluidvermogeniveau van het toestel (casing radiated sound power level), en het maximaal luchtdebiet. Meer gedetailleerde gegevens die bij het label horen zijn beschikbaar op de website (European Product Registry for Energy Labelling)⁶⁶. Ook de paragraaf 4.4 van de erkende EPB productgegevens in de epbd-database (www.epbd.be) vormt een belangrijke informatiebron.⁶⁷



FIGUUR 117: Europees energielabel.

Op de Europese productregistratiewebsite zijn ook andere kwaliteitsgegevens beschikbaar: het vermogen van de ventilatoren in de unit, het rendement van de warmtewisselaar, en de waarde van een controlefactor. Het vermogen van de ventilatoren geeft een indicatie van het elektriciteitsverbruik. Het rendement van de warmtewisselaar is een maat voor het rendement van de warmteuitwisseling tussen de verse lucht en de afgezogen lucht. De controlefactor (hoe lager hoe beter) is een maat voor de geschiktheid van het systeem voor de toepassing van vraagsturing. De kwaliteitsbeoordeling van deze parameters vindt u in de onderstaande tabel.

	Matige kwaliteit	Goede kwaliteit	Betere kwaliteit
Geluidvermogeniveau	> 45 dB(A)	42 - 45 dB(A)	< 42 dB(A)
Vermogen van de ventilatoren	>200 W	150 – 200 W	< 150 W
Rendement van de warmtewisselaar	< 86 %	86-90 %	>90 %
Controlefactor	0.85	0.85	0.65

3.5.4 ONDERHOUD

Elk type filter vraagt regelmatig onderhoud, typisch elke drie maanden. De filters beperken de vervuiling van de luchtkanalen en de eventuele warmtewisselaar. Een tienjaarlijkse reiniging van de luchtkanalen blijft nochtans een belangrijke aanrader. Een goed ontwerp houdt rekening met de aanwezigheid van voldoende toegangsluiken om de onderhoudbaarheid van het kanalsysteem te vergemakkelijken.

Het onderhoud van een ventilatie-installatie volgens systeem D vereist ook een reiniging van de (uitneembare) warmtewisselaar en een nazicht van de condensafvoer. Onvoldoende onderhoud verhoogt het risico op versnelde vervuiling van het kanalsysteem. Dit regelmatig onderhoud kan door de bewoner uitgevoerd worden. Een inspectie en reiniging van het kanalsysteem gebeurt typisch elke 10 jaar door een gespecialiseerde vakman.

3.6 UITDAGINGEN IN EEN ERFGOEDCONTEXT

De inbouw van de kanaaltracés en de integratie van gevelopeningen vormen de twee belangrijkste ontwerpuitdagingen bij het integreren van een ventilatiesysteem in erfgoedwoningen.

3.6.1 KANAALTRACÉS

We maken een onderscheid tussen verticale en horizontale tracés. De verticale tracés vormen de hoofdverbinding met de ventilatie-unit, de horizontale tracés realiseren de verbinding tussen het verticale tracé en de verschillende ruimten op hetzelfde niveau. Een centrale positie van het verticale tracé beperkt de nood aan horizontale verbindingen. Ook de opsplitsing van het verticale tracé in verschillende verticale takken kan de horizontale verbindingen beperken. In dat geval wordt de horizontale verbinding tussen de verschillende verticale tracés en de ventilatie-unit in een utilitaire ruimte (kelder, zolder) gerealiseerd.

In historische gebouwen bestaan schouwcomplexen meestal uit meerdere kanalen. Als het oorspronkelijke verwarmingssysteem gebruik maakte van lokale afgiftetoestellen (kachels, haarden) dan vindt u centraal in het schouwcomplex meestal een rookkanaal terug, geflankeerd door een afvoerkanaal voor natuurlijke ventilatie. Meestal is er een luchtafvoerkanaal en een rookkanaal per niveau, zodat op lagere verdiepingen de schouwcomplexen breder zijn. Schouwkanalen hebben een typische sectie 20x20 cm, gescheiden door een baksteenlaag met dikte 10 cm. Schouwkanalen kunnen hergebruikt worden door een flexibele schouwvoering (metaal of kunststof), of door het integreren van een stijf metalen kanaal. Omdat in de schouwkanalen dikwijls lokale afwijkingen van de verticale voorkomen, is het integreren van kanalen niet altijd mogelijk zonder het schouwcomplex te openen.

Als er geen schouwkanalen beschikbaar zijn, dan kan een centrale inplanting van een nieuwe verticale schacht een uitweg bieden. In deze schacht kunnen ook voor andere verticale tracés (voor watertoevoer- en afvoerleidingen, en elektrische kabelering en datakabels) gebruikt worden. Het is soms mogelijk deze schacht te integreren ter hoogte van de verticale circulatie voor personen (trappen of liften).

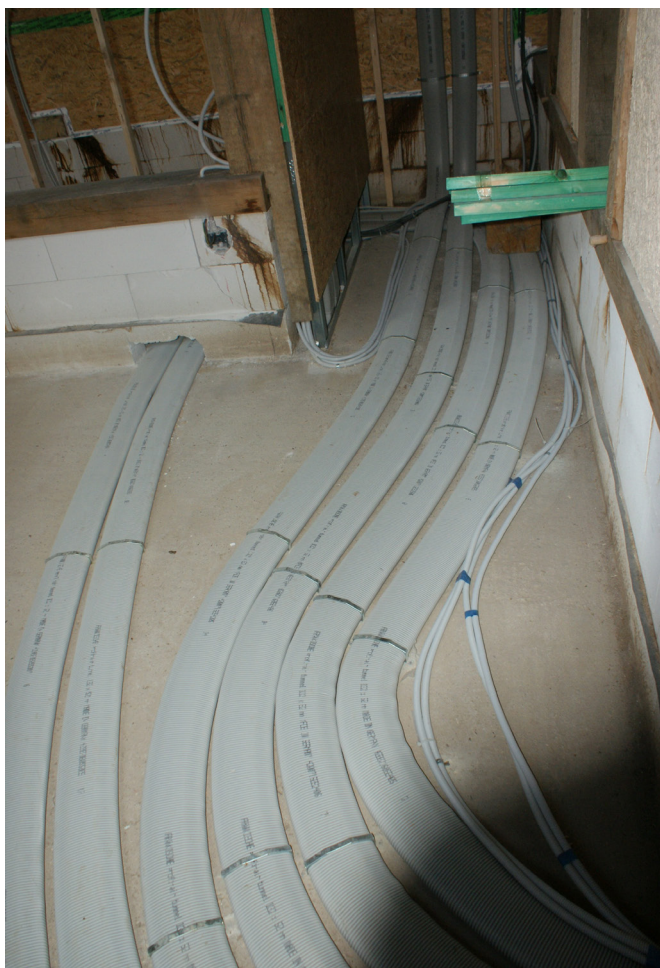
Het inbouwen van horizontale kanaaltracés gebeurt het eenvoudigst in verlaagde plafonds, typisch alleen in de circulatiezones. In sommige gevallen is het ook mogelijk een verlaagde zone te creëren langs een verticale wand, of langs de snijlijn tussen een verticale wand en een hellend dakvlak. Als er op het horizontale traject geen deuropeningen voorkomen, dan kan de inbouw in vast meubilair langs de wand op een oplossing bieden.



FIGUUR 118: Luchtafvoer integratie in bestaande schouw, Huis de Caese, Brugge (Agentschap Onroerend Erfgoed)



FIGUUR 119: Veeartsenijschool, Anderlecht (foto: urban.brussels) met horizontaal traject van luchtkanalen in vast meubilair (foto: Daidalos Peutz)

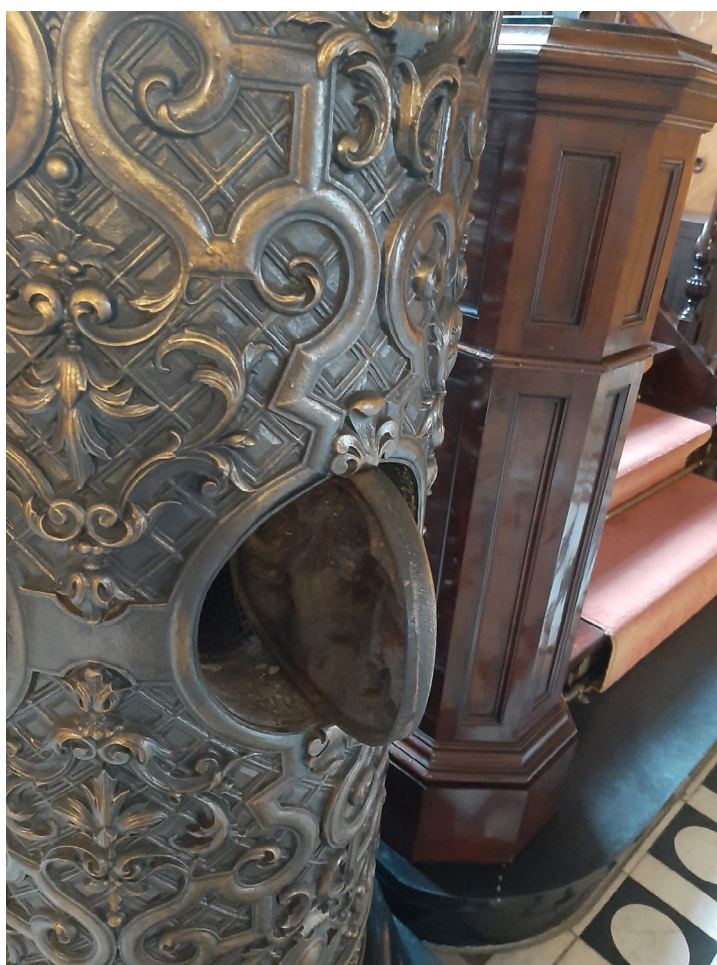


FIGUUR 120: vakwerkwoning in Alken (© Onroerend Erfgoed) met nieuw traject voor ventilatiekanalen (decentraal systeem) (© Lambrechts-Meisters)

FIGUUR 121: een ventilatiebuis in een beschermde hoeve in Deinze (foto: Agentschap Onroerend Erfgoed)



FIGUUR 122: Hergebruik van bestaande verticale kanalen (Huis Lousbergs- De Hemptinne, Gent)



3.6.2 OPENINGEN IN DE SCHIL

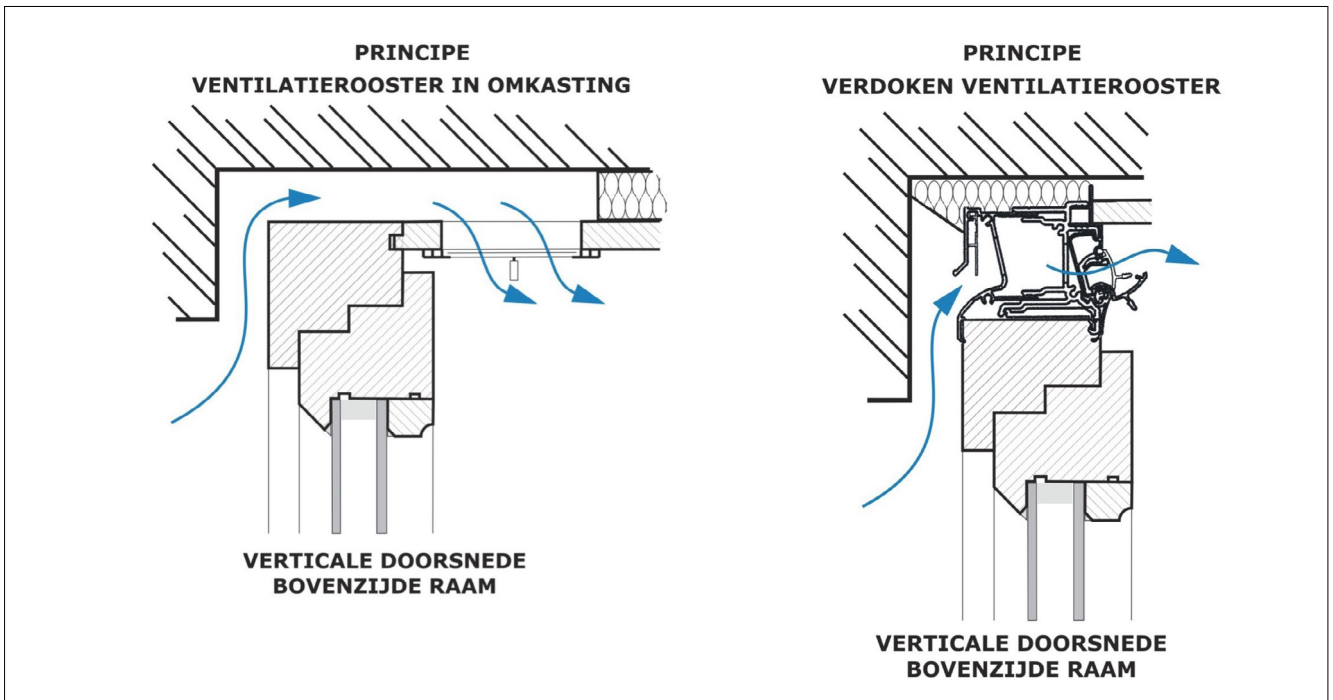
We maken een onderscheid tussen een systeem C en een systeem D.

In een systeem C worden natuurlijke toevoeropeningen voorzien rond ramen, of in muurvlakken. Rond de ramen is het in vele gevallen mogelijk een van buitenaf onzichtbare randtoevoeropening te creëren (breedte typisch 15 mm). Deze toevoeren worden gecreëerd in leefruimtes en slaapkamers, waar verse luchttoevoer van toepassing is. Ze zijn niet aanwezig in keukens, badkamers of toiletten. Bij het creëren van openingen in muurvlakken zijn er soms



FIGUUR 123: Integratie van ventilatierooster boven de ramen (smalle spleet), midden: buitenaanzicht, rechts: binnenaanzicht (cité Goede Lucht, Anderlecht Foto's: Velux en Daidalos Peutz)

bestaande toevoerroosters aanwezig, die opnieuw kunnen ingezet worden. In een systeem C zijn de toevoeropeningen relatief klein en verspreid. Bij een systeem D is er maar één toevoeropening, bij voorkeur dicht bij de ventilatie-unit. Deze opening is groter dan bij een systeem C, maar blijft relatief beperkt (typisch 25 x 25 cm). Ze kunnen in een vloervlak, in een dakvlak, of in de zone onder de gootrand van een hellend dak. De afvoeropeningen zijn bij systeem C en D gelijkaardig. De inbouw in een bovendaks schouwkanaal heeft de voorkeur. Bij een systeem D moet er een voldoende afstand (typisch 3m) zijn tussen de toe- en de afvoeropening.



FIGUUR 124: Principe van verdoken luchttoevoerroosters boven het schrijnwerk (bij ventilatiesysteem C).



FIGUUR 125: buitenafwerking van een rooster voor natuurlijke toevoer van verse lucht in een hellend leiendak (kazerne Dossin, Mechelen)
Foto Onroerend Erfgoed



FIGUUR 126: Opportuniteit voor de integratie van een rooster in een gevelrooster van het Rommelaere Instituut in Gent. Foto Onroerend Erfgoed



FIGUUR 127: Ventilatioerooster ingewerkt in de dakkapel van het stadhuis te Gent Foto Onroerend Erfgoed



FIGUUR 128: Hergebruik van een bestaand schouwkanaal van een herenhuis te Aalst Foto Onroerend Erfgoed

4 / LEXICON

A

Afblaaslucht

Afblaaslucht verwijst naar de lucht die uit een ventilatiesysteem wordt uitgestoten naar de buitenomgeving.

Afzuiglucht

Afzuiglucht (of ook extractielucht) verwijst naar de lucht die wordt afgevoerd uit een ruimte. Afzuiglucht verwijdert vervuilde lucht, dampen, geuren, vochtigheid of andere ongewenste stoffen uit een ruimte.

B

Binnenluchtkwaliteit

Binnenluchtkwaliteit verwijst naar de mate waarin de lucht in een binnenruimte vrij is van verontreinigingen en gezond is voor de mensen die zich daar bevinden. Het omvat verschillende factoren die de samenstelling van de lucht beïnvloeden.

Biomassa

Biomassa verwijst naar organisch materiaal dat afkomstig is van plantaardige of dierlijke bronnen en wordt gebruikt als een hernieuwbare energiebron. Het omvat een breed scala aan biologisch materiaal dat kan worden omgezet in energie door middel van verschillende processen. Biomassa kan afkomstig zijn uit natuurlijke bronnen of worden geproduceerd als een resultaat van menselijke activiteiten.

Broeikasgas

Broeikasgassen zoals koolstofdioxide (CO_2), lachgas (N_2O), methaan (CH_4) en Ozon (O_3) zijn gascomponenten van de atmosfeer, zowel van natuurlijke als van menselijke oorsprong, die de stralingen van het aardoppervlakte, van de atmosfeer en de wolken, absorberen en terugkaatsen.

Buffervat

Een buffervat is een opslagtank die wordt gebruikt om een reservehoeveelheid vloeistof of warmte vast te houden. Deze tanks worden vaak ingezet in verwarmingssystemen, zonne-energiesystemen en warmtepompsystemen. Het buffervat fungeert als een buffer of tijdelijke opslag van warmte om de efficiëntie en prestaties van het systeem te verbeteren. Een buffervat wordt gebruikt om warm water op te slaan voor later gebruik.

Buitenschil

De oppervlakte die het verwarmde volume van een gebouw omhult.

C

Comfortdoel

Energie in gebouwen wordt gebruikt om verschillende comfortdoelen te realiseren: verwarming, koeling, ventilatie, productie van sanitair warm water, werking van elektrische toestellen (huishoudelijke of andere apparaten (oven, diepvriestoestel en koelkast, ...) en gasgevoede toestellen (koken, ...)

Compressor

Een compressor in een warmtepomp is een essentieel onderdeel dat verantwoordelijk is voor het verhogen van de druk en temperatuur van het koelmiddel in het warmtepompsysteem. Het speelt een cruciale rol bij het efficiënt overdragen van warmte van een lagere temperatuurbron naar een hogere temperatuurbron.

Condensor

Een condensor in een warmtepomp zet het verwarmde, samengeperste koelmiddel om van gasvormige toestand naar vloeibare toestand. Tijdens dit proces komt warmte vrij, die wordt overgedragen aan het verwarmingssysteem (bijvoorbeeld radiatoren of vloerverwarming) of aan het sanitair warm tapwater. De condensor bevindt zich aan de warme zijde van de warmtepomp en is verantwoordelijk voor het laten vrijkomen van warmte die eerder is opgenomen bij de verdamer (koude zijde).

COP

De Coëfficiënt Of Performance van een warmtepomp is een maatstaf voor de efficiëntie van het apparaat bij het leveren van verwarmingsenergie in verhouding tot de verbruikte elektrische energie. De COP wordt berekend als de verhouding van de nuttige warmteafgifte tot de verbruikte elektrische energie. De COP wordt uitgedrukt als een dimensieloos getal.

D**E****EER**

De Energy Efficiency Ratio (EER) is een maatstaf voor de efficiëntie van het apparaat bij het leveren van koelsenergie in verhouding tot de verbruikte elektrische energie. Het wordt berekend als de verhouding van de nuttige koudeafgifte tot de verbruikte elektrische energie. De EER wordt uitgedrukt als een dimensieloos getal.

Energieprestatie

De energieprestatie in Vlaanderen verwijst naar de mate waarin een gebouw of een systeem energie-efficiënt is en hoe goed het voldoet aan de energienormen en -eisen die zijn vastgesteld door de Vlaamse overheid. Het begrip heeft betrekking op zowel nieuwbouw als renovaties en is gericht op het verminderen van het energieverbruik en het bevorderen van duurzaamheid in de gebouwde omgeving.

Energieprestatiecertificaat (EPC)

In Vlaanderen wordt de energieprestatie van gebouwen gemeten en gerapporteerd aan de hand van het Energieprestatiecertificaat (EPC). Dit certificaat geeft een indicatie van de energetische kwaliteit van een woning en bevat informatie over het geschatte energieverbruik, de CO₂-uitstoot en aanbevelingen voor verbeteringen.

EPB-regelgeving

Het wetgevend kader voor de bepaling van de energieprestatie van gebouwen (EPB) in Vlaanderen is de EPB-regelgeving. Deze regelgeving stelt eisen aan nieuwbouw- en renovatieprojecten met betrekking tot thermische isolatie, ventilatie, verwarming, en hernieuwbare energie. Alle gebouwen in Vlaanderen waarvoor een stedenbouwkundige vergunning wordt aangevraagd of een melding wordt gedaan, moeten aan bepaalde energieprestatie-eisen voldoen. EPB staat voor 'Energieprestatie en Binnenklimaat'.

Elektrische weerstand

Een elektrische weerstand is een component die elektrische energie omzet in warmte. Wanneer elektrische stroom door een elektrische weerstand stroomt, wordt elektrische energie omgezet in warmte. Elektrische verwarmingsweerstand worden gebruikt in diverse toepassingen, waaronder elektrische kachels, boilers, ovens, drogers en sommige vloerverwarmingssystemen.

ESCO

ESCO staat voor "Energy Service Company". Een ESCO is een bedrijf dat een breed scala aan energieoplossingen en -diensten biedt aan organisaties of particulieren met als doel de energie-efficiëntie te verbeteren, het energieverbruik te verlagen en de totale energiekosten te verlagen. ESCO's bieden doorgaans diensten aan zoals energieaudits, ontwerp en implementatie van energiebesparende projecten en financieringsopties voor energie-efficiënte upgrades.

Expansieventiel

Een expansieventiel in een warmtepomp is een onderdeel van het koelmiddelcircuit dat verantwoordelijk is voor het regelen van de stroom van het koelmiddel. Het expansieventiel bevindt zich tussen de condensor (waar het koude-middel wordt samengeperst en verwarmd) en de verdamper (waar het koudemiddel uitzet en afkoelt).

Extractielucht

Extractielucht (of ook afzuigluicht) verwijst naar de lucht die wordt afgevoerd uit een ruimte. Extractielucht verwijdert vervuilde lucht, dampen, geuren, vochtigheid of andere ongewenste stoffen uit een ruimte.

F

G

GWP

Het Global Warming Potential (GWP) is een relatieve maat die het aardopwarmingsvermogen van een broeikasgas aangeeft vergeleken met dat van koolstofdioxide (CO₂). Gebruikelijk is om uit te gaan van het 100-year GWP: het opwarmingsvermogen in een periode van 100 jaar van 1 kg van het gas ten opzichte van 1 kg CO₂.

H

Hernieuwbaar

Deze term verwijst naar bronnen van energie en hulpbronnen die op natuurlijke wijze worden vernieuwd op een tijdschaal die vergelijkbaar is met of korter dan de menselijke gebruiksperiode. Deze bronnen kunnen worden gebruikt zonder de uitputting van de voorraad of schade aan het milieu op de lange termijn te veroorzaken. Hernieuwbare bronnen dragen bij aan duurzaamheid en verminderen de afhankelijkheid van niet-hernieuwbare en vervuilende bronnen.

I

In- en exfiltratie

Deze termen worden gebruikt in het kader van luchtdichtheid en ventilatie van gebouwen. Ze verwijzen naar de ongecontroleerde luchtstromen die plaatsvinden tussen het binnen- en buitenmilieu van een gebouw. Infiltratie verwijst naar de ongecontroleerde instroom van buitenlucht in een gebouw. Dit gebeurt onbedoeld door kieren, scheuren, openingen of andere onbedoelde routes in de bouwschil (de buitenste laag van het gebouw). Exfiltratie verwijst naar de ongecontroleerde uitstroom van binnenlucht naar buiten het gebouw. Dit kan ook optreden door openingen, kieren of andere lekken in de bouwschil. In- en exfiltratie treden op als gevolg van drukverschillen tussen de binnen- en buitenomgeving, zoals winddruk, temperatuurverschillen of mechanische ventilatiesystemen in het gebouw. Beide fenomenen hebben invloed op de energie-efficiëntie en het comfort van een gebouw. Ongecontroleerde infiltratie en exfiltratie kunnen leiden tot warmteverlies, ongewenste vochtigheid en verminderde prestaties van ventilatiesystemen.

J

K

Koelmiddel

Een koelmiddel is een stof die in warmtepompen wordt gebruikt als medium voor het transport van warmte. Bij koelmiddelen wordt onderscheid gemaakt in natuurlijke koudemiddelen en synthetische koudemiddelen.

Koolstofarm

Deze term verwijst naar processen, technologieën, activiteiten, producten of systemen die relatief weinig CO₂ of andere broeikasgassen uitstoten in vergelijking met conventionele alternatieven. Het concept van koolstofarm is nauw verbonden met inspanningen om de klimaatverandering te bestrijden door de totale uitstoot van broeikasgassen te verminderen.

Koolstofintensiteit

Koolstofintensiteit verwijst naar de hoeveelheid CO₂ die wordt uitgestoten per eenheid van een bepaalde activiteit, proces, productie of energieopwekking. Het wordt vaak gebruikt als een maatstaf om de mate van koolstofuitstoot in verhouding tot een specifieke output of activiteit te meten. Koolstofintensiteit wordt meestal uitgedrukt in gram of kilogram CO₂-equivalent per eenheid van de gemeten activiteit.

Koolstofneutraal

Deze term wordt gebruikt om aan te geven dat een proces, een activiteit, een productieproces, of zelfs een gehele organisatie geen netto CO₂-uitstoot heeft, of dat de koolstofuitstoot die wordt gegenereerd volledig wordt gecompenseerd door maatregelen om CO₂ uit de atmosfeer te verwijderen of te verminderen. Het doel van koolstofneutraliteit is om de nettobijdrage aan de opwarming van de aarde tot nul te reduceren.

KWO Koude-warmte opslag

L**M****N****O****P****PMV**

Predicted Mean Vote is een index die wordt gebruikt om de thermische tevredenheid van individuen in een bepaalde omgeving te voorspellen. Het wordt gebruikt om de thermische omgeving in gebouwen te beoordelen.

PPD

Predicted Percentage of Dissatisfied is een indicator voor thermisch comfort en functie van PMV. De indicator voorspelt het percentage van de aanwezigen dat ontevreden is met het thermisch comfort. Naarmate PMV meer afwijkt van 0, neemt PPD toe.

Primaire energiefactor

De equivalente primaire energiefactor van het systeem van externe warmtelevering is de verhouding van het primair energieverbruik tot de afgeleverde warmte. Er geldt hierbij steeds een ondergrens van 0,7 om te vermijden dat een zeer voordelige inrekening van warmte waarvoor weinig energie verbruikt wordt, zoals restwarmte, aanleiding zou geven tot het slordig omspringen met energieverbruik in de gebouwen die warmte afnemen. Deze restwarmte wordt dan best gebruikt om zo veel mogelijk gebouwen van warmte te voorzien.

Q**R****Recirculatielucht**

Recirculatielucht is afzuiglucht die na behandeling in een ventilatie-unit opnieuw in de ruimte wordt gebracht.

Rendement

Energie-output ten opzichte van energie-input

S**sanitair warm tapwater**

Sanitair warm tapwater verwijst naar water dat wordt verwarmd voor huishoudelijk gebruik, met name voor persoonlijke hygiëne, zoals handen wassen, douchen, baden en afwassen. Het proces omvat meestal het verwarmen van koud leidingwater tot een geschikte temperatuur om comfortabel te kunnen worden gebruikt.

T**Toevoerlucht**

Toevoerlucht verwijst naar de lucht die doelbewust in een bepaalde ruimte wordt gebracht, zoals een gebouw of een kamer, om de ventilatie te verbeteren, de binnenluchtkwaliteit te reguleren en het comfort van de bewoners te waarborgen. Deze lucht wordt meestal gecontroleerd ingebracht via ventilatiesystemen en kan worden gefilterd, verwarmd of gekoeld om aan specifieke behoeften te voldoen.

U

V

VEKA

Het Vlaams Energie- en Klimaatagentschap (VEKA) is een verzelfstandigd agentschap van het beleidsdomein Omgeving en geeft uitvoering aan een duurzaam energie- en klimaatbeleid in Vlaanderen. Het VEKA heeft als missie het voorbereiden, stimuleren, coördineren, uitvoeren, opvolgen en evalueren van beleidsinitiatieven op het vlak van energie en broeikasgasemissies die bijdragen aan de omslag naar een klimaatneutrale en duurzame samenleving in Vlaanderen, waarbij de beleidsinstrumenten op een kostenefficiënte en kwaliteitsvolle manier worden ingezet en rekening wordt gehouden met de sociale en economische impact.

Ventilatie-unit

Toestel dat de bewuste ventilatie realiseert. Voor een ventilatiestrategie C bevat het toestel minstens een afzuigventilator, filters en een regeling. Voor een ventilatiestrategie D bevat het toestel minstens een toevoerventilator, een afvoerventilator, filters en een warmtewisselaar.

Ventilatievoud

Het ventilatievoud is een getalwaarde (uitgedrukt in 1/h) die aangeeft hoeveel keer de lucht in het binnenvolume van een ruimte of een gebouw elk uur vervangen wordt door andere lucht. De luchtwisseling kan bestaan uit verse lucht of recirculatielucht.

Verbrandingswaarde

Energie-inhoud per gewicht of per volume brandstof (cfr biomassaketel)

Verdamper

De verdamper is een component van een warmtepomp. Het is de eerste component waar het koelmiddel doorheen stroomt nadat het is samengeperst door de compressor. De verdamper realiseert het opnemen van warmte uit de omgeving. Dit kan warmte zijn uit de buitenlucht (lucht/water-warmtepomp), uit de grond (geothermische warmtepomp) of uit water (water/water-warmtepomp). Tijdens het proces in de verdamper ondergaat het koelmiddel een faseverandering van vloeistof naar gas.

Verse lucht

Verse buitenlucht is lucht die afkomstig is van buiten, vaak van de atmosfeer en de omgeving rondom een gebouw. Het is lucht met buitenluchtkwaliteit die, afhankelijk van de context, arm is aan schadelijke stoffen en gassen. Verse buitenlucht draagt bij aan een gezond binnenklimaat en is van vitaal belang voor het welzijn van bewoners in gebouwen.

W

Warmtewisselaar

Component geïntegreerd in een ventilatie-unit voor ventilatiestrategie D. Deze component zorgt voor een uitwisseling van energie tussen de aangezogen verse lucht en de afgevoerde vervuilde lucht. Tijdens het stookseizoen verwarmt de afgevoerde lucht de toevoerlucht, in de zomersituatie koelt de afgevoerde lucht de toevoerlucht.

X

Y

Z

Zomerse bypass

Een zomerse bypass in een ventilatie-unit met warmtewisselaar is een mechanisme dat wordt gebruikt om de luchtstroom rond de warmtewisselaar te leiden, zodat de warmtewisseling wordt vermeden. Dit wordt toegepast om de ventilatie-unit aan te passen aan verschillende seizoenen en omstandigheden, en om de temperatuur en vochtigheid te regelen.

5 / BIJLAGEN

5.1 VERMOGEN VAN RADIATOREN

Hieronder volgt een inschatting voor het afgiftevermogen in functie van de geometrie en voor verschillende afgiftetemperaturen.





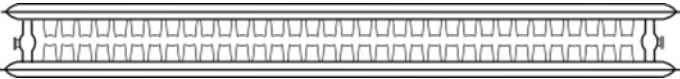
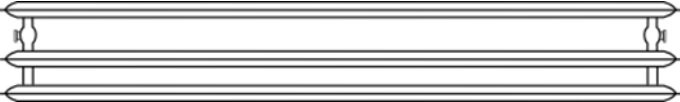
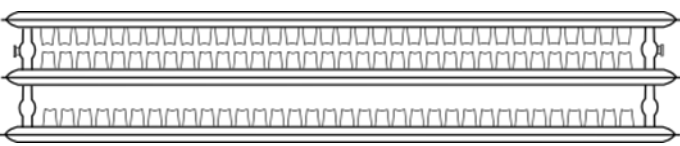
5.1.1 PANEELRADIATOREN

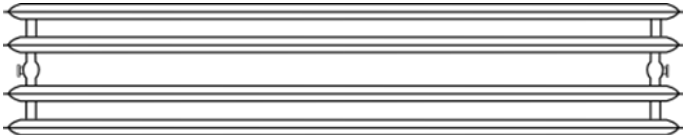
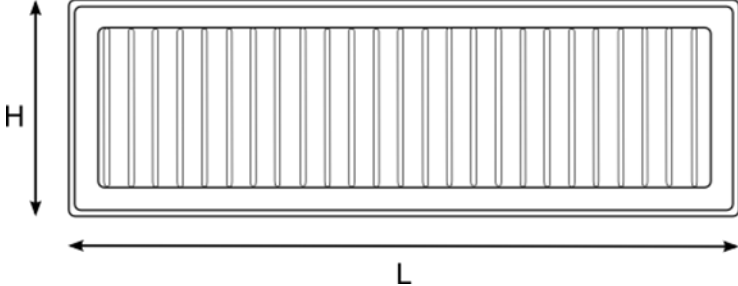
Het vermogen van paneelradiatoren wordt geschat op basis van een lineaire regressie, uitgevoerd op de technische gegevens van vele (oude en nieuwe) modellen, beschikbaar in de documentatie van de fabrikanten. De methode voor het schatten van het vermogen omvat de volgende stappen:

1. Het aantal panelen tellen (tussen 1 en 4)
2. Het aantal geribde panelen tellen (tussen 1 en 3)
3. Het model bepalen: XY (X panelen en Y geribde panelen)
4. De hoogte van de radiator meten
5. De lengte van de radiator meten

Nu het model gekend is, wordt de juiste formule gekozen in Tabel 7. Door de hoogte in mm in de formule in te vullen, bekomt men het vermogen van de radiator per strekkende meter. Door dit vermogen te vermenigvuldigen met de lengte, bekomt men het totale thermische vermogen van de radiator bij een temperatuurregime van 90/70/20°C.

TABEL 7 / vermogen per strekkende meter van stalen paneelradiatoren, bij 90/70/20°C.

MODEL	LINEAIR VERMOGEN [W/M]	VOORBEELD
10	$P = 60 + 1,23 H$	
11	$P = 157 + 1,68 H$	
20	$P = 176 + 1,93 H$	
21	$P = 277 + 2,48 H$	
22	$P = 371 + 3,05 H$	
30	$P = 296 + 2,62 H$	
33	$P = 593 + 4,18 H$	

40	$P = 342 + 3,51 H$	
		

Voor radiatoren zonder ribben (d.w.z. modellen 10, 20, 30 en 40) geven de verschillende modellen redelijk uniforme vermogenswaarden. Daarom is de lineaire regressielijn die gebruikt wordt om het vermogen ervan te schatten heel nauwkeurig. De situatie is anders voor geribde modellen, met een veel grotere statistische spreiding van de resultaten en een lagere nauwkeurigheid van de schatting. De in de tabel voorgestelde formules zijn gekozen om het vermogen van 70% van de onderzochte radiatoren te onderschatten, uitgaande van de idee dat het veiliger is een te hoog geïnstalleerd afgiftevermogen te hebben dan een te laag.

Om het afgiftevermogen bij een ander temperatuurregime (en nominaal debiet) te bekomen, kan men de volgende formule gebruiken:

$$P_{\Delta T} = P_{60} \left(\frac{\Delta T}{60} \right)^{1,3}$$

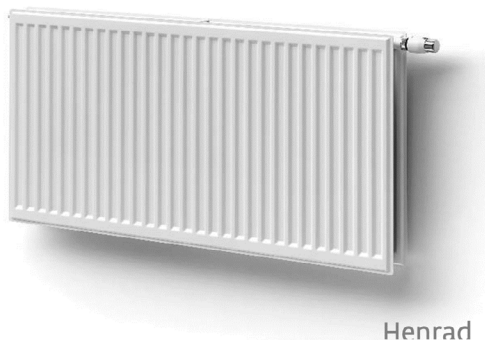
Met ΔT het temperatuurverschil tussen de gemiddelde temperatuur in een radiator en de omgevingstemperatuur in een ruimte voor het gewenste temperatuurregime.

Voorbeelden:



Een radiator heeft 4 panelen zonder ribben (model 40), een hoogte van 550 mm en een lengte van 1.510 mm. Tabel 7 vermeldt een vermogen per strekkende meter van 2.273 W ($342 + 3,51 \times 550$) en een totaal vermogen 3.257 W ($2273 \times 1,51$) bij een temperatuurregime van 90/70/20°C.

Bij een temperatuurregime van 55/45/20°C is het vermogen $3.257 \times \left(\frac{30}{60} \right)^{1,3} = 1.322$ W.



Een radiator beschikt over twee geribde panelen (model 22), heeft een hoogte van 300 mm en een lengte van 2.700 mm. Tabel 7 vermeldt een vermogen per strekkende meter van 1.286 W ($371 + 3,05 \times 300$) en een totaal vermogen van 3.472 W ($1286 \times 2,7$) bij een temperatuurregime van 90/70/20°C.

Bij een regime van 55/45/20°C is het vermogen $3.472 \times \left(\frac{30}{60} \right)^{1,3} = 1.410$ W.

Op basis van de formules in deze technische fiche geeft onderstaande tabel een overzicht van de stralingsvermogens per strekkende meter voor verschillende hoogtes en temperatuurregimes.

TABEL 8. / Afgifvermogen per type, hoogte en overtemperatuur voor een radiator van 1 meter breed

MODEL		10				11				20				21			
ΔT		60°C	40°C	30°C	20°C	60°C	40°C	30°C	20°C	60°C	40°C	30°C	20°C	60°C	40°C	30°C	20°C
H (mm)	300	429	253	174	103	661	390	268	158	755	446	307	181	1021	603	415	245
	400	552	326	224	132	829	489	337	199	948	560	385	227	1269	749	515	304
	500	675	398	274	162	997	589	405	239	1141	674	463	274	1517	896	616	364
	600	798	471	324	191	1165	688	473	279	1334	787	542	320	1765	1042	717	423
	700	921	544	374	221	1333	787	541	320	1527	901	620	366	2013	1188	818	483
	800	1044	616	424	250	1501	886	610	360	1720	1015	699	412	2261	1335	918	542
	900	1167	689	474	280	1669	985	678	400	1913	1129	777	459	2509	1481	1019	602
	1000	1290	762	524	309	1837	1084	746	440	2106	1243	855	505	2757	1627	1120	661
	1100	1413	834	574	339	2005	1184	814	481	2299	1357	934	551	3005	1774	1220	720
	1200	1536	907	624	368	2173	1283	883	521	2492	1471	1012	597	3253	1920	1321	780

MODEL		22				30				33				40			
ΔT		60°C	40°C	30°C	20°C	60°C	40°C	30°C	20°C	60°C	40°C	30°C	20°C	60°C	40°C	30°C	20°C
H	300	1286	759	522	308	1082	639	439	259	1847	1090	750	443	1395	823	567	334
	400	1591	939	646	381	1344	793	546	322	2265	1337	920	543	1746	1031	709	419
	500	1896	1119	770	455	1606	948	652	385	2683	1584	1090	643	2097	1238	852	503
	600	2201	1299	894	528	1868	1103	759	448	3101	1831	1259	743	2448	1445	994	587
	700	2506	1479	1018	601	2130	1257	865	511	3519	2077	1429	844	2799	1652	1137	671
	800	2811	1659	1142	674	2392	1412	971	573	3937	2324	1599	944	3150	1859	1279	755
	900	3116	1839	1265	747	2654	1567	1078	636	4355	2571	1769	1044	3501	2067	1422	839
	1000	3421	2019	1389	820	2916	1721	1184	699	4773	2818	1938	1144	3852	2274	1564	923
	1100	3726	2200	1513	893	3178	1876	1291	762	5191	3064	2108	1244	4203	2481	1707	1008
	1200	4031	2380	1637	966	3440	2031	1397	825	5609	3311	2278	1345	4554	2688	1849	1092

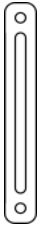
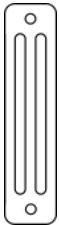
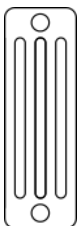
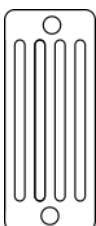
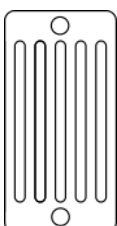
5.1.2 KOLOMRADIATOREN

Het vermogen van stalen buisradiatoren (die beantwoorden aan de geometrische vereisten in Figuur 95.) kan men schatten op basis van een lineaire regressie, uitgevoerd op de technische gegevens van drie bestaande modellen. De methode voor het schatten van het vermogen omvat de volgende stappen:

1. Het aantal kolommen per module tellen (tussen 2 en 6)
2. Het aantal modules tellen
3. De hoogte van een module meten (tussen 200 cm en 3.000 cm)

Nu het aantal kolommen gekend is, wordt de juiste formule gekozen in Tabel 9. Door de hoogte (in mm) van de radiator in de formule in te vullen, bekomt men het vermogen van een module (in W). Het vermogen van de radiator bekomt men door het vermogen per module te vermenigvuldigen met het aantal modules. Dit vermogen komt overeen met een temperatuurregime van 75/65/20°C ($\Delta T = 50^\circ\text{C}$ - zie algemene fiche).

TABEL 9. / Schatting van het vermogen van een stalen buisradiator (regime 75/65/20°C).

AANTAL KOLOMMEN	VERHOUDING VERMOGEN/HOOGTE PER MODULE	SCHEMATISCH OVERZICHT
2	$P_{50} = 4,3 + 0,068 H$	
3	$P_{50} = 8,9 + 0,089 H$	
4	$P_{50} = 12,7 + 0,112g H$	
5	$P_{50} = 19 + 0,132 H$	
6	$P_{50} = 22 + 0,156 H$	

Om het stralingsvermogen bij een ander temperatuurregime te bekommen, kan men de volgende formule gebruiken:

$$P_{\Delta T} = P_{50} \left(\frac{\Delta T}{50} \right)^{1,3}$$

Met ΔT het temperatuurverschil tussen de gemiddelde temperatuur in een radiator en de omgevingstemperatuur in een ruimte voor het gewenste temperatuurregime.

Voorbeelden:

Een stalen buisradiator heeft een hoogte van 1.200 mm, en beschikt over vijf kolommen en 18 modules. Tabel 9 vermeldt een vermogen per module van 177 W en een totaal vermogen van 3.193 W bij een temperatuurregime van 75/65/20°C.

Bij een regime van 55/45/20°C is het vermogen per module $177 * \left(\frac{30}{50}\right)^{1,3} = 91 \text{ W}$ en het totale vermogen 1.644 W.

De handleiding van de fabrikant (beschikbaar voor dit model – Cordivari Ardesia) vermeldt een vermogen per module van 189 W bij het regime van 75/65/20°C en 94 W bij het regime van 55/45/20°C, dus een relatieve fout van minder dan 7%.



Een stalen buisradiator heeft een hoogte van 900 mm, drie kolommen en 20 modules. Tabel 9 vermeldt een vermogen per module van 86 W en een totaal vermogen van 1.726 W bij een temperatuurregime van 75/65/20°C.

Bij een regime van 55/45/20°C is het vermogen per module $86 * \left(\frac{30}{50}\right)^{1,3} = 44 \text{ W}$ en het totale vermogen 888 W.

De handleiding van de fabrikant (beschikbaar voor dit model – Irsap Tesi3) vermeldt een vermogen per module van 88 W bij het regime van 75/65/20°C en 45 W bij het regime van 55/45/20°C, dus een relatieve fout van minder dan 3%.



Een stalen buisradiator heeft een hoogte van 2.000 mm, drie kolommen en 14 modules.

Tabel 9 vermeldt een vermogen per module van 181 W en een totaal vermogen van 2.533 W bij een temperatuurregime van 75/65/20°C.

Bij een regime van 55/45/20°C is het vermogen per module $181 * \left(\frac{30}{50}\right)^{1,3} = 93 \text{ W}$ en het totale vermogen 1.304 W.

De handleiding van de fabrikant (beschikbaar voor dit model – Acova MCV) vermeldt een vermogen per module van 183 W bij het regime van 75/65/20°C en 93 W bij het regime van 55/45/20°C, dus een relatieve fout van ongeveer 1%.



Op basis van de formules in deze technische fiche geeft onderstaande tabel een overzicht van de stralingsvermogens voor verschillende hoogtes en temperatuurregimes.

TABEL 10 / Afgiftevermogen per kolom voor verschillende types, hoogte en gemiddelde overtemperatuur

MODEL		2 KOLOMMEN				3 KOLOMMEN				4 KOLOMMEN			
ΔT		50°C	40°C	30°C	20°C	50°C	40°C	30°C	20°C	50°C	40°C	30°C	20°C
H (mm)	200	18	13	7	2	27	20	10	3	35	26	14	4
	300	25	18	10	3	36	27	14	4	46	35	18	5
	400	32	24	12	4	45	33	17	5	58	43	22	7
	500	38	29	15	4	53	40	21	6	69	51	26	8
	600	45	34	17	5	62	47	24	7	80	60	31	9
	700	52	39	20	6	71	53	27	8	91	68	35	11
	800	59	44	23	7	80	60	31	9	102	77	39	12
	900	66	49	25	8	89	67	34	10	114	85	44	13
	1000	72	54	28	8	98	73	38	11	125	93	48	15
	1200	86	64	33	10	116	87	45	14	147	110	57	17
	1500	106	80	41	12	142	107	55	17	181	135	70	21
	1600	113	85	44	13	151	113	58	18	192	144	74	22
	1700	120	90	46	14	160	120	62	19	203	152	78	24
	1800	127	95	49	15	169	127	65	20	214	160	83	25
	1900	134	100	51	16	178	133	69	21	226	169	87	26
	2000	140	105	54	16	187	140	72	22	237	177	91	28
2200	154	115	59	18	205	153	79	24	259	194	100	30	
2500	174	130	67	20	231	173	89	27	293	219	113	34	
2600	181	135	70	21	240	180	93	28	304	227	117	36	
2700	188	141	72	22	249	186	96	29	315	236	121	37	
2800	195	146	75	23	258	193	99	30	326	244	126	38	
3000	208	156	80	24	276	206	106	32	349	261	134	41	

MODEL		5 KOLOMMEN				6 KOLOMMEN			
ΔT		50°C	40°C	30°C	20°C	50°C	40°C	30°C	20°C
H (mm)	200	45	34	17	5	53	40	20	6
	300	59	44	23	7	69	51	26	8
	400	72	54	28	8	84	63	33	10
	500	85	64	33	10	100	75	39	12
	600	98	73	38	11	116	86	45	14
	700	111	83	43	13	131	98	51	15
	800	125	93	48	15	147	110	57	17
	900	138	103	53	16	162	122	63	19
	1000	151	113	58	18	178	133	69	21
	1200	177	133	68	21	209	157	81	24
	1500	217	162	84	25	256	192	99	30
1600	230	172	89	27	272	203	105	32	
1700	243	182	94	28	287	215	111	34	

	1800	257	192	99	30	303	227	117	35
	1900	270	202	104	32	318	238	123	37
	2000	283	212	109	33	334	250	129	39
	2200	309	231	119	36	365	273	141	43
	2500	349	261	134	41	412	308	159	48
	2600	362	271	139	42	428	320	165	50
	2700	375	281	145	44	443	332	171	52
	2800	389	291	150	45	459	343	177	54
	3000	415	311	160	49	490	367	189	57

5.2 TYPES VLOERVERWARMING

5.2.1 SYSTEMEN MET BUIZEN IN DE DEKVLOER

Staaldraadmatten

Bij dit systeem plaatst men staaldraadmatten op de thermische isolatie en worden de buizen bevestigd met kunststofklemmen. Het systeem wordt bedekt met een dekvloer op basis van cement of anhydriet waarop de vloerbekleding wordt geplaatst.



Radson

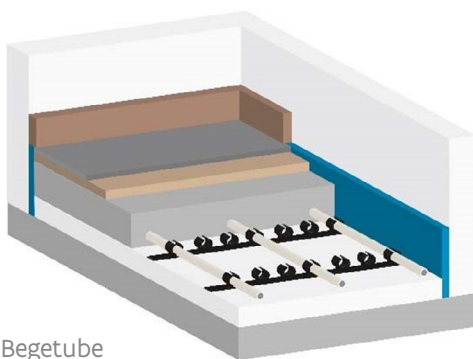
FIGUUR 129. Vloerverwarming op staalraadmat



FIGUUR 130. Detailweergave van de bevestiging van buizen op een staalraadmat

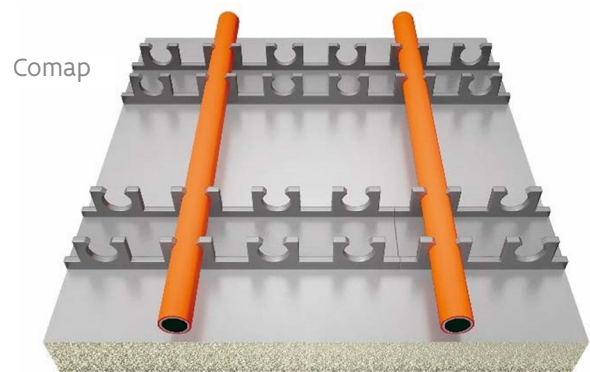
Profiellatten

Bij dit systeem plaatst men profiellatten op de thermische isolatie waarop de buizen worden bevestigd.



Begetube

FIGUUR 131. Vloerverwarming op profiellatten



FIGUUR 132. Detailweergave van de bevestiging van buizen op profiellatten

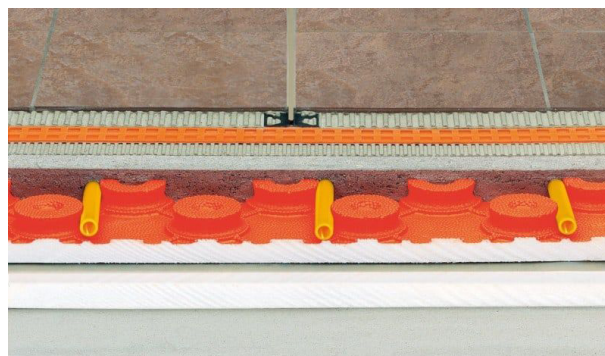
Geprofileerde isolatieplaten

Bij dit systeem isoleert men de vloer met geprofileerde isolatieplaten waarop de buizen worden gelegd, die zo op hun plaats worden gehouden. De geprofileerde platen kunnen alleen geplaatst worden of als aanvulling van een ander isolerend materiaal voor de vloer.



Radson

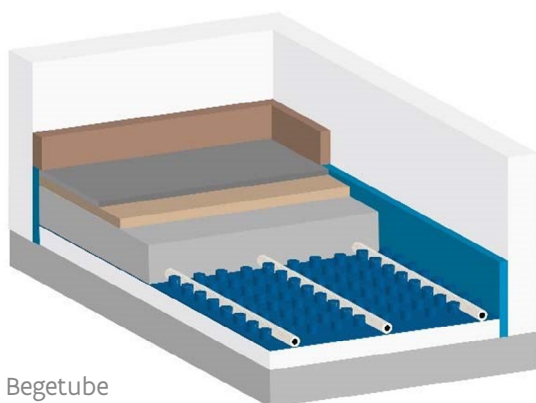
FIGUUR 133. Vloerverwarming in dekvloer op geprofileerde isolatieplaat



FIGUUR 134. Dunne, "droge" vloerverwarming op geprofileerde isolatieplaat (Schlüter)

Noppenfolie

Bij dit systeem plaatst men noppenfolie in kunststof op de thermische isolatie van de vloer. De buizen worden op deze folie geplaatst en door de noppen op hun plaats gehouden.



Begetube

FIGUUR 135. Vloerverwarming op noppenfolie

Bedrukte PE-folie

Bij dit systeem bedekt men de thermische isolatie van de vloer met een bedrukte PE-folie en worden de buizen bevestigd met klemmen in kunststof of metaal. De uitlijning van de buizen gebeurt volgens het raster dat op de PE-folie is gedrukt.



Begetube

FIGUUR 136. Bedrukte PE-folie



Giacomini

FIGUUR 137. Vloerverwarming op bedrukte PE-folie

Isolatie rol

Bij dit systeem isoleert men de vloer met isolatiepanelen verpakt als rol. De buizen worden bevestigd met klemmen in kunststof of metaal.

FIGUUR 138. Isolatiepanelen verpakt als rol (Radson)



Gefreesde groeven

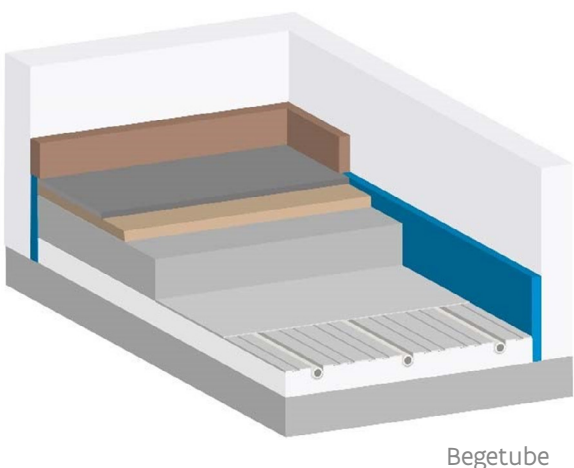
Bij dit systeem freest men groeven in de dekvloer waarin de buizen worden gelegd. De vloerbekleding kan rechtstreeks op dit systeem worden geplaatst zonder dat er nog een bijkomende dekvloerlaag moet worden gestort.

FIGUUR 139. Gefreesde sleuven in de dekvloer (Vasco)



5.2.2 SYSTEMEN MET BUIZEN IN DE VLOERISOLATIE

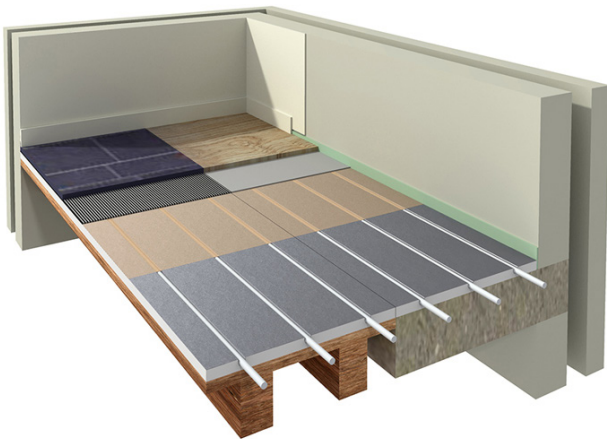
Bij dit systeem isoleert men de vloer met voorgevormde isolatieplaten die voorzien zijn van groeven waarin de buizen worden gelegd. Onder de buizen plaatst men metalen plaatjes om de warmtespreiding verder te optimaliseren. De vloerbekleding kan rechtstreeks op het systeem geplaatst worden zonder dat er een dekvloer gestort moet worden.



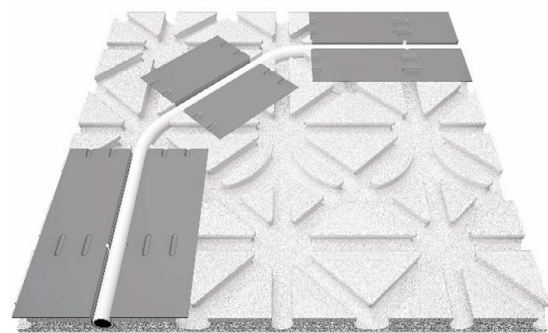
FIGUUR 140. Vloerverwarming op voorgevormde isolatieplaten (afbeelding Begetube)



FIGUUR 141. Vloerverwarming op voorgevormde isolatieplaten (afbeelding Radson)



FIGUUR 142. Vloerverwarming op voorgevormde isolatieplaten (afbeelding Vasco)



Comap

FIGUUR 143. Vloerverwarming op voorgevormde isolatieplaten (afbeelding Comap)

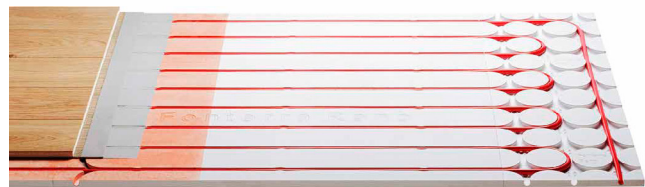
5.2.3 SYSTEMEN MET GEÏNTEGREERDE BUIZEN IN DE VLOERCONSTRUCTIE

Bij dit systeem plaatst men gefreesde houten panelen of gipsvezelplaten op de thermische isolatie van de vloer. De buizen worden in de groeven gelegd. Onder de buizen plaatst men metalen plaatjes om de warmtespreiding verder te optimaliseren. De vloerbekleding kan rechtstreeks op het systeem geplaatst worden zonder dat er een dekvloer gestort moet worden.



Opal Systems

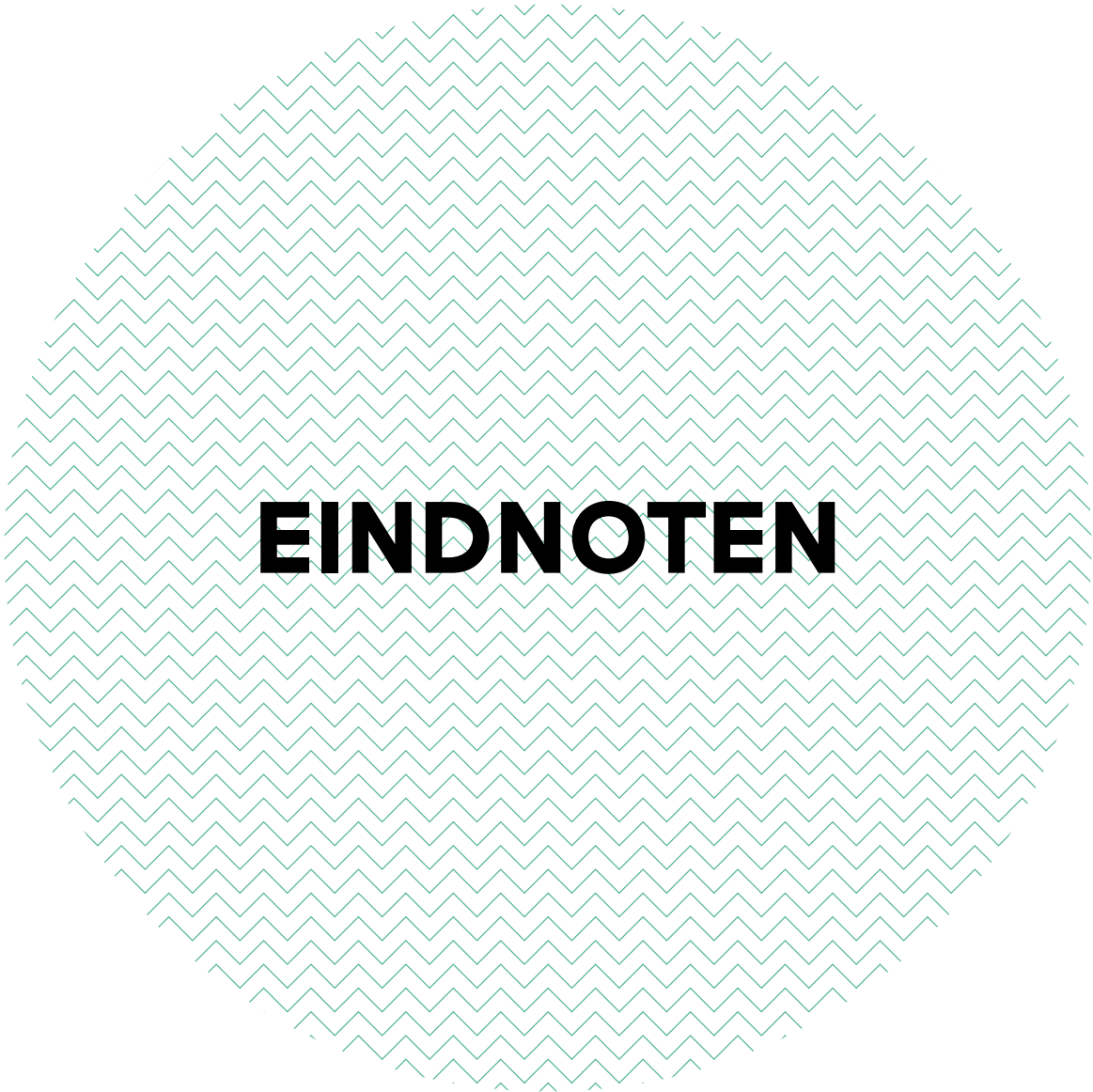
FIGUUR 144. Vloerverwarming op houtpanelen met groeven (afbeelding Opal Systems)



FIGUUR 145. Vloerverwarming op gipsvezelplaten met groeven (afbeelding Viega)



PV installatie in historische woning in Nottebohmstraat in Zurenborg. / foto Dieter Daniëls



EINDNOTEN

EINDNOTEN

- 1 https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf, geraadpleegd op 30/11/2023.
- 2 European Green Deal, die de EU omvormt tot een moderne, grondstoffenefficiënte en concurrerende economie met een netto-uitstoot van broeikasgassen van nul tegen 2050: Een Europese Green Deal (europa.eu)
- 3 Zie lexikon
- 4 <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>, geraadpleegd op 22/01/2024
- 5 <https://www.unesco.org/en/sustainable-development/culture>, geraadpleegd op 22/01/2024; Zie ook De Marie T., Achieving climate ambitions while preserving heritage significance: a theoretical exercise, Masterproef, Universiteit Antwerpen, 2022: p. 86 e.v.
- 6 https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_nl, geraadpleegd op 18/12/2023
- 7 <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>, geraadpleegd op 18/12/2023
- 8 <https://www.vlaanderen.be/een-huis-of-appartement-kopen/renovatieverplichting-voor-residentiele-gebouwen>, geraadpleegd op 14/12/2023
- 9 Visienota Warmteplan 2025 | Vlaanderen.be
- 10 Fit for 55 - The EU's plan for a green transition - Consilium (europa.eu)
- 11 Burgemeestersconvenant.be
- 12 Lokaal Energie- en Klimaatpact (vvsg.be)
- 13 Call groene warmte, restwarmte en energie-efficiënte stadsverwarming | Vlaanderen.be
- 14 Warmtegids (vlaanderen.be)
- 15 Leidraad warmtenetten voor lokale besturen (ode.be)
- 16 Openbaredienstverplichtingen | VREG
- 17 Warmtenetkaart
- 18 Warmtekaart Geopunt | Digitaal Vlaanderen
- 19 <https://www.evr-architecten.be/project/vlaamse-maatstaf-voor-duurzaam-wonen-bouwen/#:~:text=Binnen%20het%20kader%20van%20de,procent%20t.o.v%20het%20jaar%201990.>, geraadpleegd op 18/12/2023
- 20 <https://www.gro-tool.be/>, geraadpleegd op 18/12/2023
- 21 <https://www.onroerenderfgoed.be/onze-adviezen-bij-vergunningen-en-toelatingen>, geraadpleegd op 18/12/2023
- 22 <https://www.onroerenderfgoed.be/een-energieadvies-onroerend-erfgoed-aanvragen> geraadpleegd op 28/04/23
- 23 DE HOUWER V., MEGANCK L. & VAN HERCK K. 2023: Waarderen van erfgoed: erfgoedwaarden en criteria, Afwegingskaders agentschap Onroerend Erfgoed 13.
- 24 NBN EN 16883:2017 - NBN
- 25 <https://task59.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/D.B2--Proposal-for-standard-improvement.pdf>, geraadpleegd op 18/12/2023
- 26 NBN EN ISO 7730 Ergonomie van de thermische omgeving - Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekening van de PMV- en PPD-waarden en door criteria voor de plaatselijke thermische behaaglijkheid (ISO 7730:2005)
- 27 ASHRAE handbook: heating, ventilation and air conditioning applications, hoofdstuk 21 Museums, libraries and archives, 2007
- 28 <https://www.installatie.nl/nieuws/installateur-strijdt-om-afleverset-warmtenet/>
- 29 CollecThor | Open Thor
- 30 4th Generation District Heating (4GDH) - Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, Henrik Lund, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, Brian Vad Mathiesen, March 2014, https://www.sdu.dk/-/media/files/om_sdu/institutter/iti/forskning/nato+arw/literature/4th+generation+district+heating+4gdh.pdf
- 31 VITO archief
- 32 <https://www.infowarmtepomp.be/nl/hoe-werkt-een-warmtepomp/>
- 33 EPREL Public website (europa.eu)
- 34 De labels gelden voor toestellen met een nominale warmteafgifte van ≤ 70 kW
- 35 Zie Lexikon

- 36 Bron: <https://www.vlaanderen.be/informatie-voor-verwarmingsprofessionals/energielabel-voor-verwarmings-en-warmwatertoestellen/pakketlabel-voor-verwarmings-en-warmwatertoestellen>
- 37 Groene-energie-installateurs met 'certificaat van bekwaamheid' (RESCert) | Vlaanderen.be
- 38 Bron: <https://rescert.be/nl/lists>
- 39 VLAREM II - Hoofdst 4.5: Beheersing van Geluidshinder (EMIS Navigator)
- 40 VLAREM II - Bijlage 4.5.4 Richtwaarden voor het specifieke geluid in open lucht van als hinderlijk ingedeelde inrichtingen
- 41 F-gassen | Vlaanderen.be
- 42 Regelgeving inzake het gebruik van F-gassen | Vlaanderen.be
- 43 https://www.lg.com/ca_fr/business/climatiseur-de-plafond-de-type-cassette
- 44 Richtlijn kabels op gevels met erfgoedwaarde (onroerenderfgoed.be)
- 45 Home - Omgevingsloket (omgevingsloketvlaanderen.be)
- 46 Richtlijn kabels op gevels met erfgoedwaarde (onroerenderfgoed.be)
- 47 Richtlijn kabels op gevels met erfgoedwaarde (onroerenderfgoed.be)
- 48 <https://www.installatie.nl/nieuws/boren-warmtepompbron-moet-beter/>
- 49 <http://energyretrofit.nl/category/warmte-en-koudeopslag/>
- 50 https://www.daikin.be/nl_be/warmtepompen/producten/horizontaal.html
- 51 <https://www.infozonneboiler.be/nl/bereken-je-besparing/>
- 52 NTA 8800:2024 nl (nen.nl)
- 53 Zonnepanelen | Werken | Eigenaars | Onroerend Erfgoed
- 54 [zonnepanelen_toegankelijkheid_IF.pdf](#) (monumentenwacht.be)
- 55 <https://www.solarfocus.com/nl/producten/biomassaverwarming/pelletketels/pellet-elegance>
- 56 <https://www.plattelandscentrum.be/project/houtige-biomassa-korte-keten-sluiten>
- 57 <https://www.vlaanderen.be/bouwen-wonen-en-energie/groene-energie/bio-energie>
- 58 <https://www.smartblock.eu/en/>
- 59 <https://www.cogenvlaanderen.be/over-wkk/wkkpersector/vervanging-wkk-verhoogt-rendement-bij-viskoteepak>
- 60 <https://www.vlaanderen.be/bouwen-wonen-en-energie/groene-energie/warmtekrachtkoppeling-installaties-wkk-installaties>
- 61 Europees akkoord voor snellere renovatie gebouwen: gasboilers vanaf 2040 in de ban | De Standaard
- 62 <https://www.vlaanderen.be/epb-pedia/technieken/verwarming-koeling-en-sanitair-warm-water/opwekking/ketel/onderste-en-bovenste-verbrandingswaarde>
- 63 <https://solhyd.eu/wp-content/uploads/2021/05/Hydrogen-use-in-buildings-BatHyBuild-29042021.pdf>
- 64 <https://www.vlaanderen.be/epb-pedia/gebouw/luchtdichtheid/kwaliteitskader-voor-luchtdichtheidsmetingen>
- 65 Info over de lokale buitenluchtkwaliteit vindt u terug op <https://vito.be/nl/luchtkwaliteit>
- 66 www.epbd.be
- 67 <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/residentialventilationunits>
- 68 OLESEN, B. W., MORTENSEN, E., THORSHAUGE, J., & BERGMUNCH, B. (1980). Thermal comfort in a room heated by different methods. ASHRAE Transactions, 86(1).
- 69 MYRHEN J.A. & HOLMBERG S. (2008) Flow patterns and thermal comfort in a room with panel, floor and wall heating, Energy and buildings 40/4
- 70 ISO-publicatie 82.1 Energieprestatie woningen en woongebouwen
- 71 EN 16798-1 en REHVA guidebook low temperature heating systems
- 72 Buildwise Rapport Nr 14: Ontwerp en dimensionering van centrale-verwarmingsinstallaties met warm water
- 73 Warmte kan ook onttrokken worden door een warmtepompboiler.