Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap

Groene gids

Isolatie van historische gebouwen

Technische achtergronden

Isolatie van historische gebouwen

Inhoud

1 Inleiding 4

2 Belangrijk om zich te realiseren 5
2.1 Behoud van cultureel erfgoed 5
2.2 Energiebesparing 5

3 Beginnen 6
3.1 Stap 0: Grootte van het project 7
3.2 Stap 1a: Huidige toestand, bepaling waarden 7
3.3 Stap 1b: Huidige toestand, technische staat 7
3.4 Stap 2: Nieuwe toestand 7
3.5 Stap 3: Uitwerking 7

4 Wanneer wel of niet isoleren 8
4.1 Waarom isoleren? 8
4.2 Wel of niet isoleren 8

5. Methode en materiaal kiezen 10
5.1 Selecteren van methode en materiaal 10
5.2 Methoden 10
5.3 Materialen 15
5.3.1 Duurzame isolatiematerialen 17
5.3.2 Van ideale isolatiedikte naar optimale isolatiedikte 18
5.3.3 Isolatiedikte en het Bouwbesluit 18

6 Belangrijke aandachtspunten 20
6.1 Algemene uitgangspunten monument 20
6.2 Algemene bouwfysische uitgangspunten 20
6.3 Gevolgen van na-isolatie 20
6.4 Plaats van de isolatie 20
6.5 Detaillering en uitvoeringskwaliteit 21
6.5.1 Koudebruggen 21
6.5.2 Luchtdichtheid 22
6.6 Gebouwonderdelen 23
6.6.1 Daken, binnenzijde 23
6.6.2 Daken, buitenzijde 24
6.6.3 Zolders 24
6.6.4 Wanden 24
6.6.5 Wanden, buitenzijde 25
6.6.6 Wanden: binnenzijde 25
6.6.7 Wanden, binnenisolatie met spouw (binnenzetwand) 26
6.6.8 Wanden, binnenisolatie zonder spouw 26
6.6.9 Wanden: spouwmuur 27
6.6.10 Vloeren met kruipruimte of kelder 28
6.6.11 Vloeren zonder kruipruime of kelder 28
6.7 Ventileren en isoleren 29

7 Kosten en opbrengsten 30
7.1 Investeringskosten 30
7.2 Besparing 30
7.3 Cultuurhistorische waarden 30
7.4 Instandhouding en conservering 31

8 Wet- en regelgeving 32
8.1 Erfgoedwet 32
8.2 Wabo 32
8.3 Bouwbesluit 2012 32
8.4 Energielabel 32
8.5 In contact komen met de gemeente 32

9 Begrippen 33

1. Inleiding

Na-isolatie van een woonhuis is bij elke restauratie of herbestemming één van de velen uitdagingen. Dit geldt voor alle historische panden. Dus niet alleen voor panden die rijks- of gemeentelijke bescherming hebben. De na-isolatie is onderdeel van de duurzaamheidambitie van de bewoner of eigenaar. Maar niet alleen bij een restauratie of herbestemming. Ook het aanpakken van één ruimte kan aanleiding zijn om na te isoleren. Meestal is na-isoleren helaas niet zo eenvoudig als het lijkt. Deze brochure helpt bij het doorlopen van de noodzakelijke stappen naar een passende na-isolatieoplossing. Per stap worden voor- en nadelen tegen elkaar afgezet en worden de belangrijkste aandachtspunten benoemd.

2. Belangrijk om zich te realiseren

2.1 Behoud van cultureel erfgoed

De Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed[1] *heeft als missie: 'Het beter laten functioneren van de erfgoedzorg in Nederland. Onze betrokkenheid bij het meest waardevolle erfgoed van ons land omvat het behoud, de duurzame ontwikkeling en de toegankelijkheid ervan. (...) De Rijksdienst heeft oog voor het belang van eigenaar en samenleving, en hart voor het erfgoed.'*

Het behoud van cultureel erfgoed spreekt voor zich. Hier staat het bewaren van de cultuurhistorische waarden, voor nu en voor de toekomst, centraal. Een duurzame ontwikkeling draagt bij aan het behoud. De toegankelijkheid zorgt ervoor dat we van het cultureel erfgoed kunnen genieten. Deze drie elementen zijn niet alleen onderling verbonden, maar ook met de maatschappij. De Rijksdienst is zich ervan bewust dat het dus niet alleen gaat over het behouden van wat er is, maar dat er meer partijen zijn die kunnen helpen om het cultureel erfgoed door te geven. Soms zorgt dit voor spanning. Een voorbeeld ter illustratie. Een eigenaar wil een woning na-isoleren zodat het energieverbruik afneemt en vervolgens dus ook de milieubelasting vermindert. De ingreep kan nodig zijn om een nieuwe huurder of koper te vinden. In de woning bevindt zich echter een waardevolle dakconstructie met typerende oeil de boeufs. Door het dak aan de binnenzijde te isoleren wordt de beleving van het kapspant minder en het zicht vanuit de oeil de boeufs verkleind. Een gevolg dat vanuit het oogpunt van erfgoedzorg niet wenselijk is. In dit soort gevallen moeten er alternatieven gezocht worden. Is het bijvoorbeeld wel nodig de hele kap te isoleren, of kan de zoldervloer isoleren ook volstaan? Kan het dak bijvoorbeeld aan de buitenzijde worden geïsoleerd?

2.2 Energiebesparing

Duurzaamheid is een breed begrip. En kan op vele manieren worden uitgelegd. In elke restauratie of herbestemming is duurzaamheid een thema. In de kern betekent duurzaamheid dat de impact die mensen op de aarde veroorzaken in het dagelijks leven een effect heeft op de aarde, zodat de generaties na ons hetzelfde kunnen (blijven) doen. De *World Commission on environment and Development* van de Verenigde Naties formuleert duurzaamheid als volgt[2]:

'Duurzame ontwikkeling is de ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van de toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen'.

Kortom, een breed en veelomvattend begrip en soms lastig te hanteren. Daarnaast kan het ook misleidend zijn. Sommige restauraties of herbestemmingen worden bijvoorbeeld als duurzaam aangemerkt, maar gaan alleen over energie of eerlijker energiebesparing. Of de restauratie nu duurzaam of energetisch is, in beide gevallen krijgt het monument een functie en blijft het behouden voor de toekomst. Omgekeerd geldt dat wanneer een gebouw gerestaureerd wordt om het door te kunnen geven, het wellicht is aan te raden om te kijken of dat ook duurzaam kan.

[1] www. cultureelerfgoed.nl

[2] United Nations (1987). Our Common future: Report of the World Commission on Environment and Development (https://www.are.admin.ch/are/en/home/sustainable-development/international-cooperation/2030agenda/un-_-milestones-in-sustainable-development/1987--brundtland-report.html)

3. Beginnen

Het besluit om na te isoleren is snel genomen. Maar om tot een goede duurzame oplossing te komen, moet over een aantal zaken dieper worden nagedacht. Dit voorkomt dat een project wordt gestart dat achteraf geen duurzame oplossing blijkt en mogelijk het budget overschrijdt.

De eerste stap bestaat uit goed te kijken naar de omvang van het project. Voor een groot project is het aan te raden hulp van derden in te schakelen. Een klein project kan mogelijk door de eigenaar of bewoner zelf worden uitgevoerd. Als tweede moet de huidige kwaliteit van de woning in kaart worden gebracht. Zowel op bouwkundig gebied als op het gebied van de cultuurhistorische waarden. Latere keuzes en beslissingen worden op basis hiervan genomen. Als derde is het noodzakelijk vast te stellen wat belangrijk is in het project: kosten, duurzaamheid, comfort, energiebesparing enzovoorts. Ook deze aspecten zijn van invloed op de keuze van methode en materiaal. Niet alle materialen hebben dezelfde voor- en nadelen. Sommige zijn duurder dan andere en sommige materialen zijn voor een doe-het-zelver niet te verwerken waardoor kosten hoger kunnen uitvallen. Als laatste moet de gekozen na-isolatiemethode en -materialisatie uitgevoerd worden. Dat begint op de tekentafel, maar wellicht nog belangrijker is de uitvoering in de praktijk. Dat is de plaats waar de kwaliteit gemaakt wordt. De detaillering moet van papier vertaald worden naar de praktijk en dat brengt risico's met zich mee.

Afbeelding 1
Beknopt stappenplan voor het na-isoleren van historische gebouwen

3.1 Stap 0: Grootte van het project

De grootte van het project bepaalt in welke mate het door de eigenaar of bewoner zelf kan worden uitgevoerd. Gaat het om het aanpakken van een vliering of de gehele woning? Is de eigenaar of bewoner van plan zelf de werkzaamheden uit te voeren of schakelt deze liever professionals in, zoals een restauratiearchitect, bouwhistoricus restauratieaannemer of constructeur, bouwkundige of bouwfysicus met expertise in historische gebouwen. Misschien worden de werkzaamheden samen met een behulpzame buurman of buurvrouw uitgevoerd? Of kiest de eigenaar of bewoner liever voor een restauratieaannemer die gespecialiseerd is in specifieke na-isolatiemethode? En speelt de beschikbare tijd nog een rol? Het zijn dit soort factoren die de grootte van een project bepalen.

3.2 Stap 1a: Huidige toestand, bepaling waarden

Voordat kan worden nagedacht over het na-isoleren van een monumentale woning, is het belangrijk om te kijken naar de karakteristieken van de woning. Deze bepalen op een later moment de mogelijkheden voor methode en materialisatie (Stap 3).

Allereerst is het belangrijk om vast te stellen wat de cultuurhistorische waarden zijn van de woning. Het gaat daarbij om zowel de buiten- als de binnenkant. Deze cultuurhistorische waarden kunnen op verschillende manieren worden achterhaald.

De eigenaar of bewoner van een rijksmonument kan in eerste instantie, voor zover mogelijk, kijken in het besluit tot aanwijzing van het rijksmonument. De daarin gegeven omschrijving van het rijksmonument is ook te raadplegen via www.cultureelerfgoed.nl/monumentenregister. Biedt dit onvoldoende uitsluitsel, bijvoorbeeld omdat de omschrijving summier is (vaak het geval bij een oudere aanwijzing) dan kunnen de monumentale waarden nader bepaald worden aan de hand van een cultuurhistorisch of bouwhistorisch rapport of een andere publicatie die op de monumentale waarden ingaat. Staat een grote ingreep gepland, de buitenschil isoleren bijvoorbeeld, dan kan het zijn dat er een bouwhistorische verkenning of bouwhistorisch onderzoek gevraagd wordt in de vergunningprocedure. Daarnaast kan ook uit het oordeel van de minister in het kader van een subsidieprocedure blijken dat aan bepaalde onderdelen monumentale waarde wordt toegekend.
Na de aanwijzing als rijksmonument toegevoegde onderdelen hebben doorgaans geen monumentale waarde en zijn ook niet van belang voor het monument als geheel (dit laatste wel als ze bij een restauratie zijn aangebracht). Dus na de aanwijzing als rijksmonument aangebrachte keukens, badkamers of gipsplaten hebben bijvoorbeeld geen monumentale waarde. In het geval van een gemeentelijk monument of beeldbepalend pand is het interessant na te vragen of de gemeente een redengevende omschrijving of waardestelling van het pand heeft laten opstellen. De gemeente kan in veel gevallen ook verder helpen met het bepalen van de waardevolle onderdelen van het pand.

3.3 Stap 1b: Huidige toestand, technische staat

Naast de waardebepaling is het van groot (technisch) belang dat een pand goed wordt geïnspecteerd op gebreken. Is het pand wind- en waterdicht? Is het constructief nog stabiel of zitten er grote scheuren in het pand. Zijn er lekkages of zit de goot verstopt? Zijn de houten kozijnen nog in goede staat of bevatten ze rotte plekken? Is er zoutuitbloeiing zichtbaar in de gevel? De eerste stap op weg naar verduurzaming is het technisch in orde brengen van het pand waarna er regelmatig onderhoud gepleegd dient te worden. Goed onderhoud is dus duurzaam. (Oude) lekkages kunnen leiden tot veel vocht in de woning. Wanneer een vochtige woning na-geïsoleerd wordt, zal dit op relatief korte termijn resulteren in nog grotere problemen. Een bouwkundige met expertise met betrekking tot historische gebouwen kan de eigenaar of bewoner helpen. Ook bestaat er in Nederland de mogelijkheid voor eigenaren van beschermde monumenten om een inspectieabonnement af te sluiten bij bijvoorbeeld de Monumentenwacht.

3.4 Stap 2: Nieuwe toestand

Vervolgens is het belangrijk om vast te stellen wat het doel is van het na-isoleren: duurzaamheid, energiebesparing, comfort, instandhouding, conservering of iets anders. Het doel bepaalt in zekere mate de mogelijkheden voor methode en materialisatie (Stap 3).

3.5 Stap 3: Uitwerking

Als alle keuzes gemaakt zijn, is het tijd voor de uitwerking. In eerste instantie gebeurt dat in het schetsboek en op de tekentafel. In plattegronden, doorsneden en details worden de mogelijke oplossingen geschetst. Belangrijk is dat de oplossingen maakbaar zijn. Deze worden getoetst aan de verschillende doelen (stap 2). Daarna worden de tekeningen vertaald naar een uitvoering in de praktijk. Daarbij is het belangrijk dat de uitvoering zeer precies wordt uitgevoerd en gebaseerd is op aandachtspunten uit deze brochure (Zie hoofdstuk 6).

4. Wanneer wel of niet isoleren

4.1 Waarom isoleren?

In de praktijk zijn er grofweg drie hoofdredenen om te isoleren: energiebesparing, comfort en technische staat. De belangrijkste reden is dat eigenaren energie willen besparen, of beter gezegd de energiekosten willen beperken of verlagen. Energie gaat verloren door enerzijds transmissie en anderzijds (overmatige) ventilatie en infiltratie. Transmissieverliezen zijn energieverliezen als gevolg van warmtegeleiding door een materiaal heen. Dit kan worden voorkomen door de warmteweerstand (R-waarde) van de gebouwschil te verhogen door het aanbrengen van een laag isolatiemateriaal met een bepaalde dikte.

Theoretisch kader: thermisch comfort

Naast de luchtvochtigheid (in relatie met luchttemperatuur en vochtigheid) zijn er meer factoren van invloed op het thermisch comfort van de mens. We onderscheiden ruimtelijke factoren:

- Luchttemperatuur, is de temperatuur van de lucht waarin we ons bevinden,
- Relatieve luchtvochtigheid, is het percentage waterdamp in de lucht waarin we ons bevinden ten opzichte van de maximale hoeveelheid waterdamp;
- Stralingstemperatuur, is een rekenkundig gemiddelde temperatuur van de ons omringende oppervlakken van de ruimte waarin we ons bevinden. Afstand, grootte en hoek spelen hierbij een belangrijke rol.
- Luchtsnelheid, is de snelheid van de lucht waarin we ons bevinden. Snelheden groter dan 0,2 meter per seconde worden al snel als tocht ervaren.

En menselijke factoren:

- Metabolisme, is een maat voor de menselijk activiteit;
- Kleding, is voor mensen wat isolatie is voor gebouwen.

Isoleren van een woning heeft vaak gevolgen voor alle ruimtelijke factoren. Door het toevoegen van isolatie wordt de wandtemperatuur verhoogd. Tijdens de werkzaamheden worden kieren en gaten opgevuld, waardoor er minder luchtstroming plaats vindt (maar ook minder natuurlijke ventilatie!)

Een andere reden voor isolatie is het verhogen van het thermisch comfort. Hogere oppervlaktetemperaturen zorgen voor minder thermisch gedreven luchtstromingen. Bij ongeïsoleerde vensters of wanden koelt lucht aan een oppervlak af. Omdat koude lucht zwaarder is dan warme lucht, stroomt de lucht langs het koude oppervlak (dat kan een venster zijn, maar ook een hoge wand) naar beneden. Dit wordt koudeval genoemd. Hoe kouder de lucht hoe groter de snelheid. Een dergelijk luchtstroom ervaren we als tocht. Door na te isoleren wordt het oppervlak warmer en worden koudeval en tocht worden hierdoor beperkt. Bij vensters passen we ook vaak radiator of convector toe om de koudeval op te vangen. Daarnaast zorgt een lagere oppervlaktetemperatuur voor een grotere stralingsuitwisseling tussen personen en oppervlakken. Daardoor koelen personen in een ruimte af en neemt de behaaglijkheid af, ondanks dat de luchttemperatuur hoog genoeg is. De behaaglijkheidstemperatuur hangt namelijk af van zowel de luchttemperatuur en de stralingstemperatuur. Een hogere stralingstemperatuur kan een lagere luchttemperatuur binnen grenzen compenseren. Zijn de verschillende in stralingstemperaturen in een ruimte te groot, dan zullen personen in die ruimte aan een kant van hun lichaam meer energie afgeven dan aan de andere kant. Bij een verschil groter dan vijf graden Celsius wordt dit als oncomfortabel ervaren.

Daarnaast zijn er vanuit oogpunt van instandhouding soms ook redenen om te isoleren. Sommige constructies hebben te lijden van het binnen- of buitenklimaat waardoor er cultuurhistorische waarden verloren gaan. Door thermische isolatie toe te passen worden constructies warmer (buitenisolatie) of afgeschermd van een vochtig binnenklimaat (binnenisolatie met dampremmer).

4.2 Wel of niet isoleren

De Rijkdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) hanteert het uitgangspunt dat vanwege de huidige maatschappelijke ontwikkelingen het na-isoleren van historische gebouwen zeker tot de mogelijkheden behoort. Wel zouden daaraan een tweetal voorwaarden moeten worden verbonden. Op de korte termijn mag er geen onaanvaardbaar verlies van cultuurhistorische waarden optreden. En op de langere termijn mag er als gevolg van na-isolatie geen schade aan het monumentale gebouw ontstaan. Wordt aan deze twee voorwaarden voldaan, dan ziet de RCE een na-isolatieoplossing in veel gevallen als acceptabel.

Afbeelding 2
Ventilatieverlies door kieren

Afbeelding 3
Transmissieverlies door enkel glas

Theoretisch kader: vocht
Een van de randvoorwaarden van de RCE is dat er op lange termijn geen schade mag ontstaan ten gevolge van na-isolatie. Maar wat zijn dan de risico's?

Muren en daken beschermen ons tegen vocht van buiten: regen. Door een woning te gebruiken, produceren wij ook vocht. Denk aan douchen, koken, maar ook slapen.
Een ongeïsoleerde woning heef vaak veel naden en kieren. De muren kunnen bovendien ook goed vocht opnemen en afstaan. Het vocht wordt dus afgevoerd naar buiten. Houd bij het na-isoleren van een woning rekening met dit vocht. Gebeurt dit onvoldoende, dan hoopt het vocht zich op wat kan leiden tot bijvoorbeeld schimmelgroei. Naast dat dit niet bevorderlijk is voor de gezondheid van bewoners, is het ook schadelijk voor het gebouw. Schimmels kunnen de houten constructie van het gebouw aantasten (zie Brochure Schimmels in hout).

Het is daarom van belang te begrijpen dat er in een woning altijd vocht aanwezig is. Vocht bevindt zich meestal in de vorm van waterdamp in de lucht. Echter, wanneer de lucht haar maximale percentage waterdamp heeft opgenomen, kan de lucht verzadigd raken. Er treedt in dit geval condensatie op. Dit wordt uitgedrukt in een percentage: de relatieve luchtvochtigheid. Dit percentage heeft een directe relatie met de luchttemperatuur. Een hoge luchttemperatuur kan meer vocht bevatten dan een lage luchttemperatuur. Koelt vochtige warme lucht snel af op een koud oppervlakte, dan ontstaat condensatie. Dit fenomeen is te herkennen bij enkele beglazing in de winter.

Het gebruik van een pand heeft invloed op deze luchtvochtigheid. Zo leiden activiteiten als koken en douchen tot verhoging van de luchtvochtigheid. Door te ventileren (lucht met een lagere relatieve vochtigheid te mengen met de binnenlucht) kan de balans weer gevonden worden.

5. Methode en materiaal kiezen

Voor de eigenaar of bewoner is het lastig een overzicht te krijgen van alle producten die er op de markt zijn. Vaak is de productinformatie commercieel verwoord, maar blijft de lezer alsnog met vragen achter. Dit hoofdstuk biedt een overzicht van de verschillende methoden en materialen, de voor- en nadelen en aandachtspunten bij het kiezen.

5.1 Selecteren van methode en materiaal

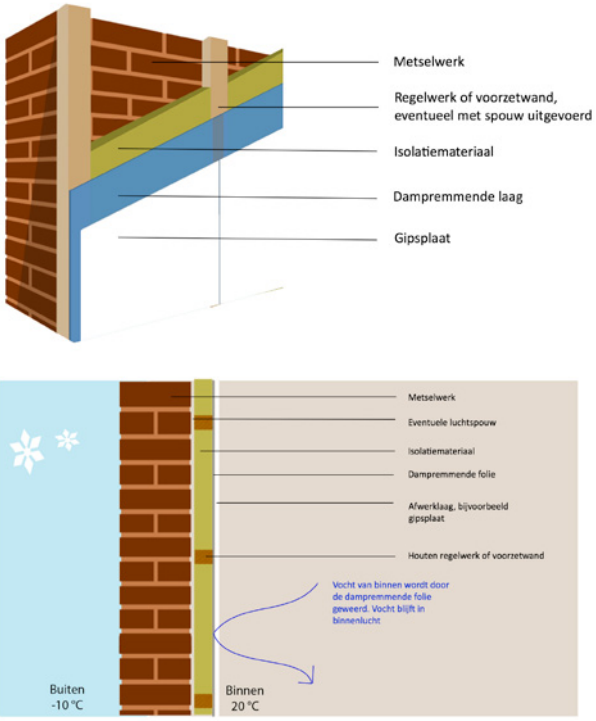
Het selecteren van de juiste methode en materiaal is lastig. De theoretische informatie in de volgende paragrafen helpt om een gefundeerde keuze te maken. Het te isoleren gebouwonderdeel is het vertrekpunt bij elk project. Om welk onderdeel gaat het? Waarin zitten de cultuurhistorische waarden? Tabel 3 biedt een overzicht voor de geschikte methode voor elk gebouwonderdeel, afhankelijk van de locatie. Een definitie van de verschillende methodes staat in paragraaf 5.2. Raadpleeg voor de keuze voor het isolatiemateriaal en de eventuele dampremmende laag Tabel 2. Hierin zijn voor elke methode verschillende mogelijkheden gegeven. Meer isolatiematerialen en hun eigenschappen staan in Tabel 4. In Tabel 5 zijn de eigenschappen voor verschillende dampremmende lagen weergegeven. Natuurlijk zijn er altijd meer materialen mogelijk. In Tabel 1 is aangegeven waarin het isolatieproduct moet voldoen.

Soms zijn de eigenschappen van een product niet volledig weergegeven in het informatieblad, of helemaal niet vindbaar. In zo'n geval is het belangrijk om professioneel advies in te winnen bij een bouwfysisch adviesbureau voordat een materiaal wordt gekozen.

5.2 Methoden

In principe zijn er vijf manieren van na-isolatie:

» **Dampdicht (of traditioneel) isoleren aan de binnenzijde**. Dit betekent dat de bestaande constructie wordt aangevuld met een isolatielaag met aan de binnen- of (warme) zijde een dampremmende laag al dan niet op spouw. Daarna volgt uiteraard een afwerking;



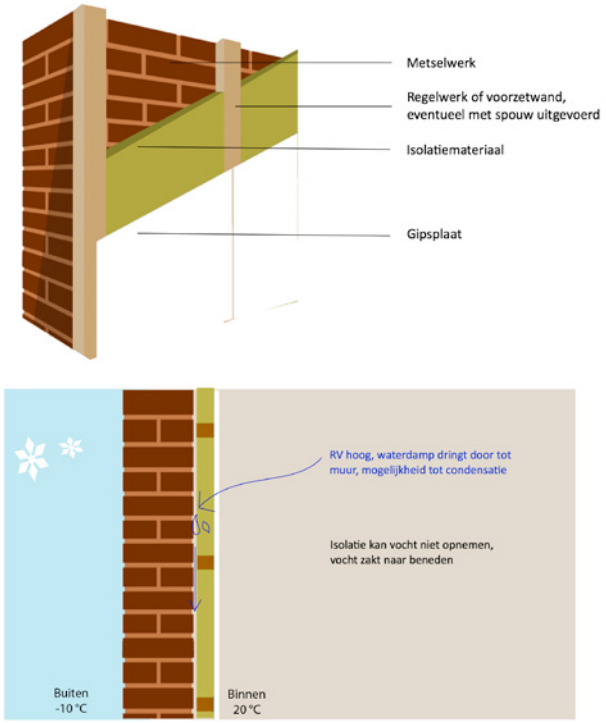
Afbeelding 4A-B
Schematische weergave van dampdicht isoleren.

Tabel 1

Karakterisering van verschillende na-isolatiemethoden

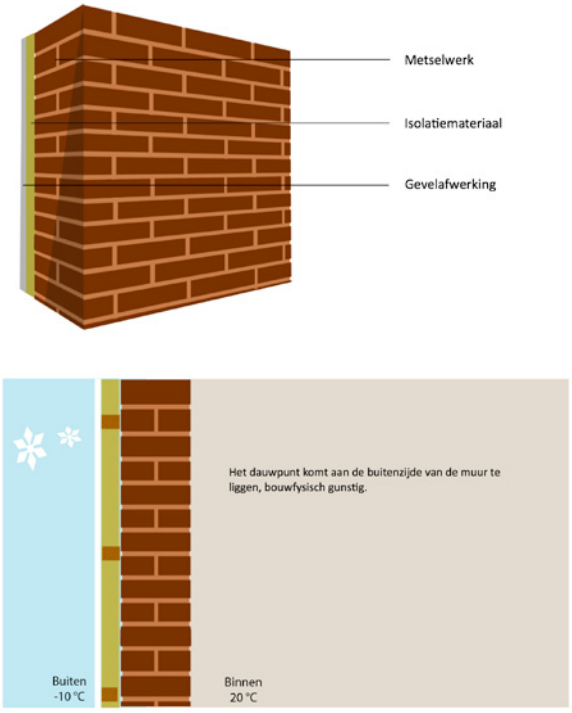
Methode	Warmtegeleidings-coëfficiënt	Waterdampdiffusie-weerstandge-tal	Waterabsorptie-coëfficiënt
Dampdicht (traditioneel, binnenzijde)	Laag, typisch λ≈0,04 W/mK	Zeer hoog, typisch μ>60.0000	n.v.t.
Dampopen (binnenzijde)	Laag, typisch λ≈0,04 W/mK	Laag, typisch μ=5-50	n.v.t.
Dampopen (buitenzijde)	Laag, typisch λ≈0,04 W/mK	Laag tot matig, typisch μ=20-100	Laag
Capillair actief (binnenzijde)	Matig, typisch λ≈0,06 W/mK	Laag, typisch μ=5-15	Hoog, A>0,2 kg/m2s1/2
Spouwmuur (niet partieel)	Laag, typisch λ≈0,04 W/mK	Laag tot matig, typisch μ=1-200	Laag

» **Dampopen isoleren aan de binnenzijde.** Te vergelijken met dampdicht isoleren, maar zónder dampremmende laag. Voor buitenwanden is deze manier zeer risicovol vanwege de inwendige condensatie. Het wordt om die reden vaak afgeraden bij monumenten;



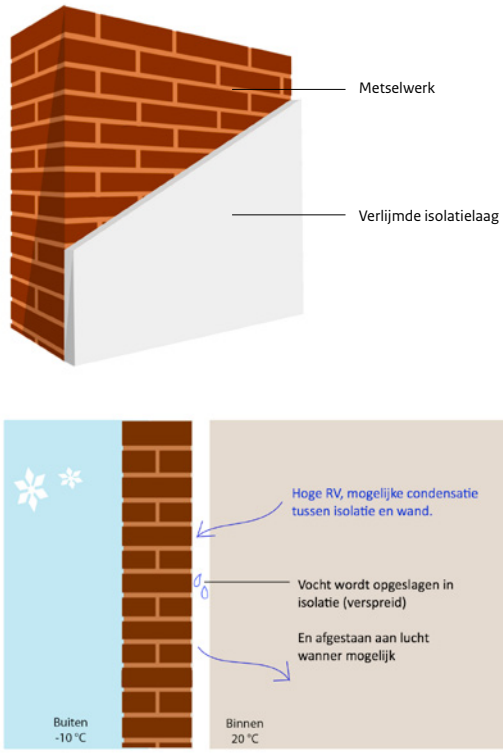
Afbeelding 5A-B
Schematische weergave van dampopen isoleren

» **Dampopen isoleren aan de buitenzijde.** Isolatie aan de buitenzijde, zonder dampremmende laag. Deze methode is vanwege monumentale waarden vaak niet wenselijk omdat het exterieur beeld sterk wordt aangetast.



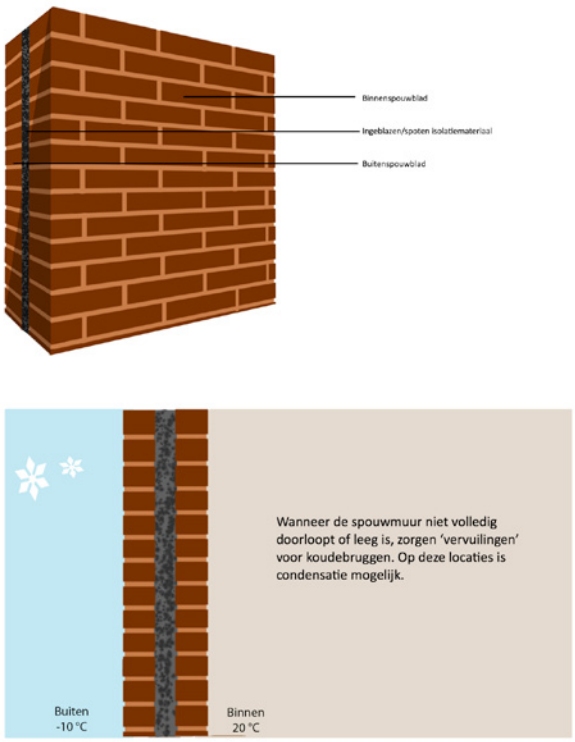
Afbeelding 6A-B
Schematische weergave van dampopen isoleren

» **Capillair actief isoleren.** Dit betekent dat de bestaande constructie wordt aangevuld met een isolatielaag, met een laag dampdiffusieweerstandsgetal. De isolatielaag wordt volledig verlijmd met de ondergrond; dus zonder spouw en zonder dampremmende laag. Het isolatiemateriaal moet in staat zijn om water vast te houden (hoge waterabsorptiecoëfficiënt). De ondergrond moet in staat zijn om met water om te gaan. Metselwerk dus wel, houtskeletbouw dus niet.



Afbeelding 7A-B
Schematische weergave van capillair actief isoleren

» **Spouwmuur isolatie.** Wanneer een pand een (gedeeltelijke) spouwmuur heeft, is het mogelijk deze vol te spuiten met isolatiemateriaal. Deze methode is relatief definitief. Verwijdering achteraf brengt hoge kosten en schade met zich mee met verlies van cultuurhistorische waarden.



Afbeelding 8A-B
Schematische weergave van capillair actief isoleren

Tabel 2

Overzicht van verschillende na-isolatiemethoden

Methode	Materialisatie	Zelf doen	Aandachtspunten
Dampdicht (traditioneel, binnenzijde)	Isolatie, zoals PUR PIR, EPS, XPS of minerale wol dampremmende laag, bij voorkeur zonder spouw (detail).	Ja, mits uitvoeringskwaliteit voldoende hoog is	Dampremmende laag aan de warme zijde toepassen. Indien mogelijk slimme dampremmende laag gebruiken.
Dampopen (binnenzijde)	Isolatie, zoals minerale wol, zonder dampremmende laag.	Ja, mits uitvoeringskwaliteit voldoende hoog is	Niet toepassen bij buitenwanden vanwege inwendige condensatie.
Dampopen (buitenzijde)	Isolatie dat geen water opneemt, bijvoorbeeld XPS.	Nee	Voorkom beschadiging van de isolatie.
Capillair actief (binnenzijde)	Isolatie moet water kunnen absorberen, bijvoorbeeld calcium silicaat.	Nee, dit vergt ervaring met het product	Niet alle producten zijn capillair actief. Het materiaal moet in staat zijn om water op te nemen. Er mogen nooit holtes of een spouw zijn.
Spouwmuur (niet partieel)	Isolatie zonder capillair transport, bijvoorbeeld steenwol, XPS of PUR.	Nee	Spouwmuurisolatie is vrij definitief. Verwijderen is niet mogelijk zonder aanzienlijke kosten en schade met verlies van cultuurhistorische waarden.

Aan de buitenzijde is het vooral belangrijk om te voorkomen dat het isolatiemateriaal water opneemt. Voor de spouwmuur is het belangrijk om een materiaal te kiezen dat geen water kan transporteren.

Onderstaande tabel (Tabel 2) biedt een overzicht van deze methoden en hun typische materialisatie. Ook is een indicatie gegeven of het zelf kan worden uitgevoerd en waaraan deze uitvoering moet voldoen.

Niet alle methoden zijn geschikt om door de eigenaar of bewoner zelf te worden uitgevoerd. In bepaalde gevallen is het aan te raden het werk te laten uitvoeren door een gecertificeerd bedrijf met aantoonbare ervaring in historische gebouwen. Zo'n bedrijf is in staat de vereiste uitvoeringskwaliteit te bereiken doordat ze bekend zijn met het product en begrijpen waar het in historische gebouwen om gaat. Ook zijn niet alle methoden zijn geschikt voor alle gebouwonderdelen. Capillair actieve isolatiemethoden zijn typisch voor wanden. In het onderstaande overzicht (Tabel 3) is aangegeven welke methoden voor welk gebouwonderdeel in aanmerking komen. Ook zijn per methode de specifieke voor- en nadelen aangegeven.

Tabel 3

Overzicht van geschikte na-isolatiemethoden voor verschillende gebouwonderdelen

Gevelonderdeel		Methode	Voordelen	Nadelen
Dak		» Dampdicht	Bouwfysisch de beste oplossing.	Verandering van aansluitdetails, beperk de maximale dikte
	Binnenzijde	» Dampdicht	Eenvoudig aan te brengen.	Dampremmende laag kan bij zichtwerk van sporen niet eenvoudig worden doorgezet. Verlies van esthetische waarden. Extra aandacht voor bouwfysica is noodzakelijk.
Zolder	Buitenzijde (bovenzijde, op de vloer of van bovenaf tussen de vloer)	» Dampdicht	Bouwfysisch goede oplossing.	Vloerhoogte neemt toe. Dampremmende laag lastig door te zetten wanneer van bovenaf wordt gewerkt. Inkorten van deuren en kozijnen.
		» Dampopen	Eenvoudig aan te brengen	Bij te dampdichte afwerking aan de koude zijde kan inwendige condensatie ontstaan.
	Binnenzijde (onderzijde, van onderaf tussen de vloer)	» Dampdicht	Bouwfysisch goede oplossing. Dampremmende laag beter door te zetten.	Aantasting van bijzondere plafonds.
		» Dampopen		Aantasting van bijzondere plafonds. Beperking in hoogte . Waterdamp kan ongehinderd passeren en mogelijk tot inwendige condensatie leiden
Gevel	Binnenzijde	» Dampdicht	Genereert veel koudebruggen. Let op balkopleggingen.	Dampdichte lagen moet ook luchtdicht zijn. Secure uitvoering essentieel.
		» Capillair actief	Vochtgedrag van de woning blijft nagenoeg ongewijzigd. Koudebruggen door balkopleggingen iets minder problematisch.	Afwerking aan de binnenzijde moet dampopen blijven. Dit vraagt besef van bewoner (en communicatie bij wijziging gebruiker) Materiaal moet volledig contact hebben met een vlakke ondergrond. Dat kan verlies van waarden betekenen.
	Spouw	» Dampopen	Alleen onder voorwaarden toe te passen.	
	Buitenzijde	» Dampopen	Bouwfysisch de beste oplossing.	Beschadigingen aan de buitenzijde moeten voorkomen worden. Waterindringing moet voorkomen worden. Vaak niet mogelijk in verband met veel cultuurhistorische waarden aan buitenzijde.
Venster		n.v.t.		
Vloer	Buitenzijde (bovenzijde, op de vloer)	» Dampdicht		Verhoging van de vloer met aanpassing aan deuren en interieuronderdelen. Bestaande constructie wordt kouder.
		» Dampopen		Verhoging van de vloer met aanpassing aan deuren en interieuronderdelen. Bestaande constructie wordt kouder.
	Binnenzijde (onderzijde, tussen of onder de vloer)	» Dampdicht		
		» Dampopen		
Bodem		» Waterdicht	Eenvoudig aan te brengen.	Mogelijk optrekkend vocht.
		» Dampopen	Eenvoudig aan te brengen.	Mogelijk nog steeds een hoge relatieve luchtvochtigheid in de kruipruimte.

5.3 Materialen

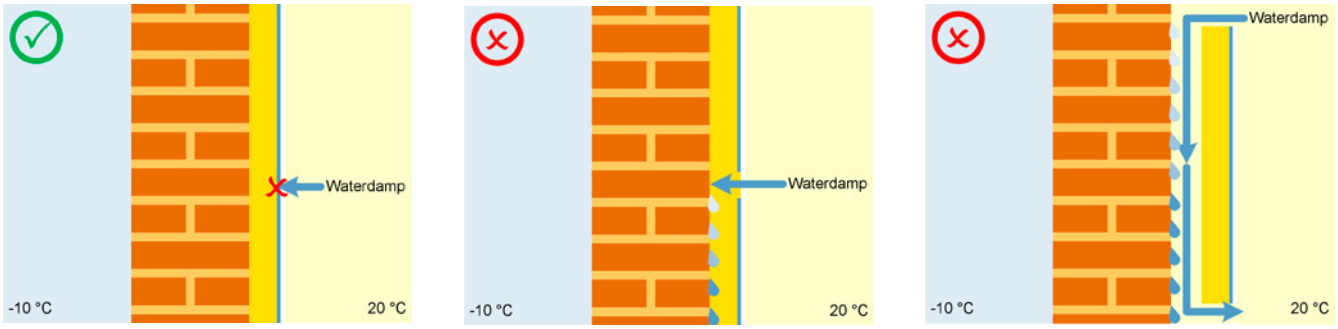
Isolatiematerialen beperken het warmteverlies. In de onderstaande tabel (Tabel 4) is van een aantal isolatiematerialen de warmtegeleidingscoëfficiënt weergegeven. Deze varieert globaal van 0,04 tot 0,065 W/mK. Daarin schuilt niet het risico.

Dat risico schuilt in de effecten die een isolatiemaatregel heeft op het vochttransport. In de bovenstaande tabel (Tabel 4) zijn daarom ook de waterdampdiffusieweerstandsgetallen opgenomen. Daarin is de spreiding veel groter. En juist deze getallen zijn heel belangrijk om het risico op vochtschade te kunnen beoordelen. Wanneer dit getal laag is (lager dan 50, zoals bijvoorbeeld steenwol) dan kan waterdamp makkelijk door dit materiaal heen diffunderen. Komt deze damp vervolgens een koud oppervlak tegen, zoals een metselwerk gevel in de winter, dan kan daar condensatie ontstaan. Is het getal hoog (hoger dan 200, zoals schuimglas) dan kan waterdamp moeilijker door dit materiaal diffunderen. Er is dan geen kans op inwendige condensatie. En dan zijn er materialen die tussen dampopen en dampdicht in zitten (tussen 50 en 200, zoals PUR). Bij die materialen is het heel erg afhankelijk van het buiten- en vooral het binnenklimaat of er een risico op inwendige condensatie is. Dat moet per geval worden bekeken. Bijvoorbeeld door een bouwfysicus met expertise in monumentale gebouwen. Kies bij twijfel altijd voor een dampremmende laag. Eventueel een slimme dampremmende laag. Het doel van deze laag is om waterdamptransport van binnen naar buiten tegen te gaan. Wanneer geen dampremmende laag is toegepast, kan waterdamp heel makkelijk doordringen. Wanneer dat kan gebeuren, kan waterdamp condenseren op het buitenblad, dat in historische gebouwen meestal massief van aard is. Waterdamp wordt namelijk niet door isolatiematerialen met een laag dampdiffusieweerstandsgetal tegengehouden. Het kan makkelijk passeren en wanneer het dan een koude buitenmuur tegenkomt zal het daar condenseren, omdat de temperatuur lager is en door het isolatiemateriaal zelf nog lager zal worden. Dit kan tot schades leiden. Meestal gebeurt dit op plekken die onzichtbaar zijn of onverklaarbaar. Dit komt doordat het condenswater op een vreemde manier afstroomt en ergens anders voor problemen kan zorgen. (Afbeelding 9).

Tabel 4

Overzicht van veelvoorkomende isolatiematerialen met hun warmte- en vochteigenschappen

Materiaal		Warmtegeleidings-coëfficiënt	Waterdampdiffusie-weerstandsgetal	Waterabsorptie-coëfficiënt
		(λ) [W/mK]	(μ) [-]	A [kg/m²s$^{1/2}$]
Traditioneel	Kurk	0,04-0,045	5-30	-
	Cellenglas (schuimglas)	0,042	5000-7000	-
	Glaswol	0,04	1,2	0
	Steenwol	0,04	1,5	0
	EPS (piepschuim)	0,035	15-200	-
	XPS	0,030	200-250	0
	PUR/PIR	0,030	60-80	0
'Capillair actief'	Calcium silicaat	0,06	6-9	0,8-1,1
	Houtvezelplaat	0,045	10-16	0,2-0,3



Afbeelding 9A-C
Schematische weergave van A: een binnenzetconstructie zonder spouw met dampremmende laag waarbij het waterdamp niet de constructie kan binnendringen, B: een binnenzetconstructie zonder spouw met geperforeerde dampremmende laag met als gevolg inwendige condensatie als gevolg van dampdiffusie, C: een niet luchtdichte binnenzetconstructie op spouw met als gevolg oppervlaktecondensatie als gevolg van dampdiffusie of convectief damptransport

Om dit te voorkomen, wordt een dampremmende laag toegepast. Maar let op: deze moet luchtdicht worden aangebracht! Als dat niet gebeurt, wordt de dampremmende laag als het ware kortgesloten en kan er alsnog waterdamp de constructie indringen. De onderstaande tabel (Tabel 5) biedt een overzicht van veel voorkomende dampremmede lagen.

Het voordeel van een dampremmende laag is direct ook een nadeel. Het kan voorkomen dat er om wat voor reden dan ook waterdamp in de constructie komt. Dat kan zijn door een iets vochtiger binnenklimaat dan aangenomen of een fout tijdens de uitvoering (bijvoorbeeld een scheur in de folie, Afbeelding 10).

Deze dampremmende laag zal dan ook voorkomen dat de waterdamp de constructie kan verlaten in de zomer. In zo'n geval kan een slimme dampremmende laag uitkomst bieden. Een slimme dampremmende laag heeft in de wintermaanden een hoge dampdiffusieweerstand en in de zomermaanden een lage dampdiffusieweerstand. En dit kan gunstig zijn, omdat juist in de winter het transport van waterdamp van de binnenruimte in de constructie moet worden voorkomen en juist in de zomer het transport van waterdamp van de constructie naar de binnenruimte moet worden bevorderd. In de winter is de laag dus beter in staat om condensatie te voorkomen en in de zomer kan er toch beperkte droging naar binnen toe plaatsvinden.

Tabel 5

Overzicht van klassenveelvoorkomende waterkerende en dampremmende lagen met hun vochteigenschappen

Materiaal	Dikte	Dampdiffusie-weerstandsgetal	S_d-waarde*
	(d) [mm]	(μ) [-]	[m]
Polyvinylchloride-folie	0,1	9.000-45.000	0,9-4,5
Polyetheen-folie	0,1	45.000-140.000	4,5-14
Polyethyleen folie (tape)	0,1	65.000	6,5
Polyethyleen folie	0,3	34.000	10,2
Polyesterfolie	0,1	14.000	1,4
Polystyreenfolie	0,1	40.000	4
2 lagen dakleer + 3 lagen bitumen	5,0	700.000	70

* De S_d-waarde is het product van de dikte (d) en het dampdiffusieweerstandsgetal (μ): $S_d = d \times \mu$

Afbeelding 10
Onzorgvuldig aangebrachte dampremmende laag met scheur is een veelvoorkomende oorzaak van vochtschade. Ook te weinig of slecht hechtende overlap en doorboringen zijn veelvoorkomende oorzaken

5.3.1Duurzame isolatiematerialen

Door de lage warmtegeleidingscoëfficiënt en daaruit voortvloeiende hoge warmteweerstand leveren isolatiematerialen dus een positieve bijdrage aan het milieu. Door goed te isoleren is minder fossiele brandstof nodig om onze huizen te verwarmen en daalt de CO_2-uitstoot. Een vermindering van de milieubelasting en verlaging van de carbon footprint. Het maken van isolatiematerialen kost echter ook energie. En dat is een negatieve bijdrage aan het milieu plus toename van de milieubelasting. Om inzicht te verkrijgen, kunnen LCA's gemaakt worden. LCA staat voor Life Cycle Assessment, een methode om de milieubelasting voor het maken van een product te kwantificeren, waarbij zoveel mogelijk aspecten worden meegenomen, zoals het delven, transporteren tot en met de verwerking wanneer het sloopafval is. In Nederland heeft het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE) voor vele isolatiematerialen deze assessments[4] gemaakt. Daarbij maken ze gebruik van 7 klassen:

- Klasse 1: beste keuze
- Klasse 2: goede keuze
- Klasse 3: aanvaardbare keuze
- Klasse 4: minder goede keuze
- Klasse 5: af te raden keuze
- Klasse 6: slechte keuze
- Klasse 7: onaanvaardbare keuze

Aan de hand van deze klassen, is het mogelijk een betere keuze te maken. De resultaten van deze assessments zijn soms verrassend. Zo leek schapenwol tot voor kort een heel duurzaam product. En dat was het ook toen het nog een restproduct was. Tegenwoordig worden schapen gehouden voor hun wol en mensen en dieren laten nu eenmaal een grote carbon footprint na waarmee het

[4] Voor meer informatie over de gebruikte methode: http://www.nibe.info/nl/methode

product een NIBE-classificatie heeft van 7 ongeacht de plaats waar het wordt toegepast. Steenwol daarentegen scoort zeer goed met een NIBE-classificatie van 1. Ongeacht de plaats waar het wordt toegepast. Daarmee is steenwol een van de meest duurzame bouwmaterialen. De plaats van toepassing heeft soms ook nog invloed op de classificatie. Dat komt dan doordat naast het materiaal zelf nog energie moet worden gestopt in hulpvoorzieningen en dergelijke. Zo scoren pentaan beglazen PIR-platen in een plat dak een NIBE-classificatie van 1, in een spouwmuur een NIBE-classificatie van 2 en in een binnenwand, een NIBE-classificatie van 3. De plaats van toepassing maakt dus wel degelijk uit.

5.3.2 Van ideale isolatiedikte naar optimale isolatiedikte

Om de doelstellingen om zoveel mogelijk energie te besparen te halen, lijkt het in eerste instantie goed om een zo dik mogelijk isolatiepakket toe te passen. Dat is echter niet helemaal juist. In economische zin heeft de toegepaste dikte een zekere terugverdientijd (TVT). Wat betreft de duurzaamheid zijn er twee zaken die van belang zijn voor de optimale dikte. Ten eerste levert een isolatiepakket een verlaging van het transmissieverlies op waardoor er minder (fossiele) brandstoffen hoeven te worden gebruikte voor het verwarmen van een gebouw. Ten tweede betekent meer isolatiedikte meer gebruik van grondstoffen die met behulp van (fossiele) brandstoffen worden verwerkt tot isolatiemateriaal. De ideale dikte is dus die dikte waarbij de afname van energie van energie even groot is als de toename van energie. Voor Nederland is dat ongeveer 24 centimeter steenwol.

Het toepassen van deze dikte in monumenten is echter onmogelijk. Een dik isolatiepakket brengt praktische problemen met zich mee en heeft vooral een groot waardeverlies tot gevolg. Daarmee wordt dus niet voldaan aan de doelstelling om monumentale waarden te behouden. Uit oogpunt van monumentale waarde zal dat pakket dus veel dunner moeten zijn. De dikte wordt in dat geval bepaald door de beschikbare dikte binnen het detail. Doorgaans is dat maximaal 5 centimeter.

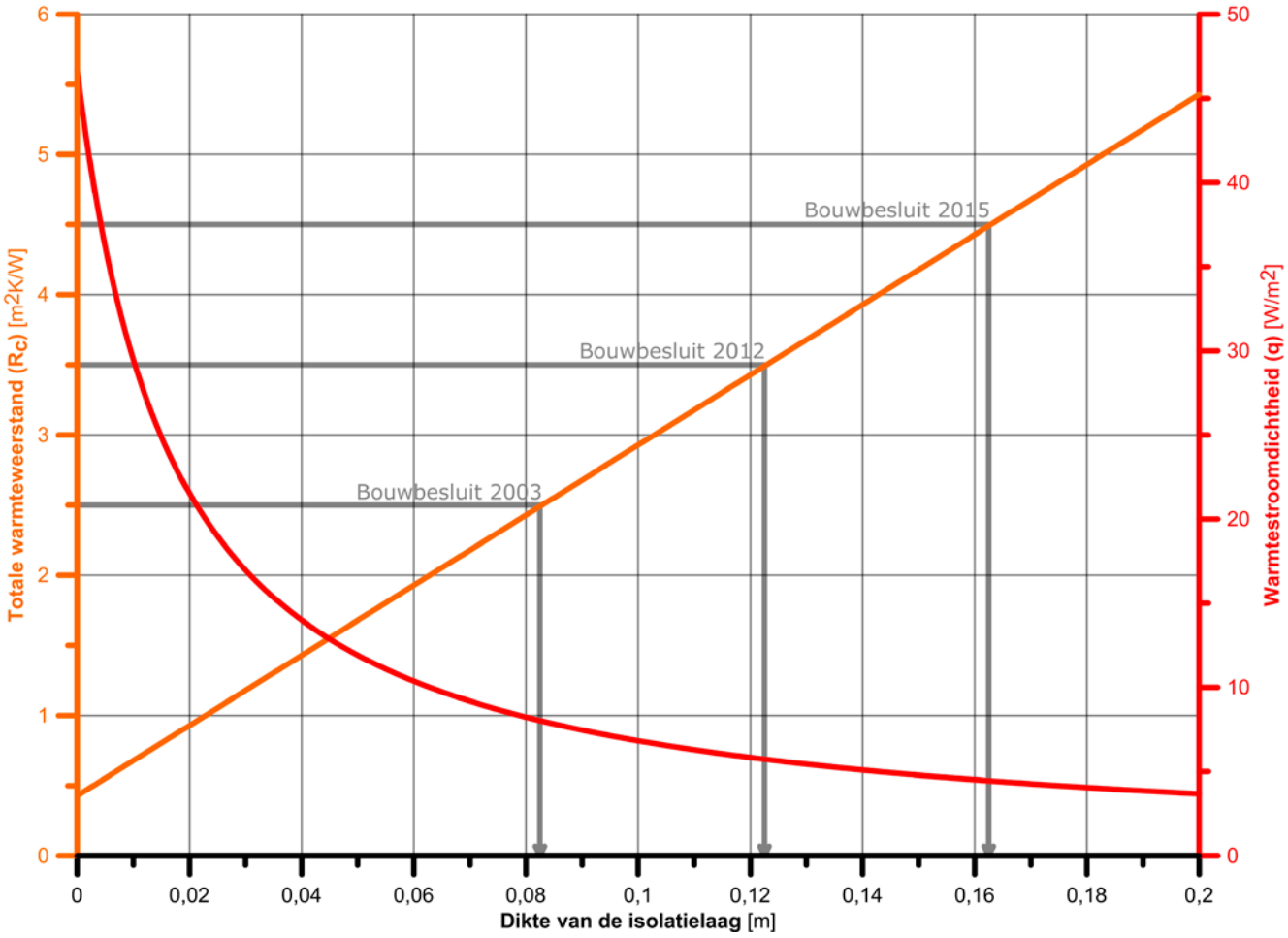
5.3.3 Isolatiedikte en het Bouwbesluit

In de aflopen jaren is voor nieuwbouw de eis dat de warmteweerstand (R_c-waarde) steeds verder opgeschroefd. Sinds 1 januari 2015 worden er scherpere eisen gesteld aan de thermische schil van een gebouw. Hiermee wordt invulling gegeven aan de wens in de markt dat er meer aandacht uitgaat naar de bouwkundige schil van een gebouw. Momenteel wordt er een R_c-waarde eis van 3,5 m^2K/W gesteld voor de gehele schil, die eis wordt gedifferentieerd naar type constructie:

- Vloer: R_c-waarde minimaal 3,5 m^2K/W;
- Gevel: R_c-waarde minimaal 4,5 m^2K/W;
- Dak: R_c-waarde minimaal 6,0 m^2K/W.

In de onderstaande afbeelding (Afbeelding 11) is te zien welke isolatiedikte nodig is om de R_c-waarde eis uit het Bouwbesluit te realiseren[5]. Was het in 2003 nog iets meer dan 8 centimeter. In 2015 is het ruim 16 centimeter. Een verdubbeling. En rekening houdend met het feit dat de ideale isolatiedikte in Nederland ongeveer 24 centimeter is, zal deze trend de komende jaren aanhouden. Reden genoeg om argumenten te verzamelen vanuit de waardestelling van het gebouw om de isolatiedikte te minimaliseren: de maximale dikte is de dikte die de monumentale waarde niet aantast. Om die reden wordt niet gekeken naar de toename van de R_c-waarde maar naar de verlaging van de energiestroom door een vierkante meter geïsoleerde muur. Ook wel warmtestroomdichtheid genoemd. In tegenstelling tot de warmteweerstand die lineair toeneemt met de dikte (de helling van de oranje lijn blijft hetzelfde), neemt de warmtestroom dichtheid exponentieel af met de toename van de dikte. Dat betekent dat elke centimeter isolatie die wordt toegevoegd steeds minder effectief is. Met andere woorden; de eerste centimeters geven een grote reductie van de energiestroom. Maar dat effect wordt steeds kleiner (de helling van de rode lijn wordt steeds minder stijl) en er moet verhoudingsgewijs steeds meer isolatiemateriaal toegevoegd worden om nog een merkbare besparing te realiseren. In historische gebouwen die ongeïsoleerd zijn, moet gekeken worden naar de eerste paar centimeters die al een enorme winst opleveren. Isoleren volgens de eisen uit het Bouwbesluit zijn dus meestal ongewenst en op basis van artikel 1.13 zelfs onnodig.

[5] De benodigde isolatiedikte is berekend door een metselwerk muur met een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,7 W/mK met een dikte van 30 centimeter te voorzien van een toenemende isolatie van minerale wol met een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,04 W/mK zonder verdere afwerkingslagen. De warmtestroomdichtheid is voor deze constructie bepaald bij een temperatuurverschil van 20°C.



Afbeelding 11 (50%)

Grafisch overzicht met de Rc-waarden eisen uit het Bouwbesluit en het gevolg voor de dikte van de isolatielaag en de daarmee gepaard gaande energiestroom.

6. Belangrijke aandachtspunten

6.1 Algemene uitgangspunten monument

» Een monument hoeft niet per definitie te voldoen aan de eisen van het Bouwbesluit 2012 (paragraaf 8.3)
» Bepaal voorafgaand aan werkzaamheden eerst de cultuurhistorische waarden en technische toestand van het pand (Hoofdstuk 3).
» Eerste centimeters isolatie geven de grootste reductie van warmteverlies (paragraaf 5.3.3).
» Vanwege cultuurhistorische waarden en detaillering is een isolatiepakket van circa 5 centimeter vaak het uitgangspunt (paragraaf 5.3.2)

6.2 Algemene bouwfysische uitgangspunten

» Voorzie een voldoende dikke (paragraaf 5.3.2) en correct uitgevoerde thermische isolatie (paragraaf 6.5)
» Waarborg de luchtdichtheid van de gebouwschil (paragraaf 6.5.2);
» Verzeker een gecontroleerde, regelmatig onderhouden ventilatie (paragraaf 6.5).

6.3 Gevolgen van na-isolatie

Energiebesparing is een van de belangrijkste redenen om te isoleren. Dit wordt eenvoudig bereikt door de hoge warmteweerstand van isolatiematerialen tegen warmtegeleiding. Daarnaast verandert door isolatie-ingrepen het hygrothermisch evenwicht. In sommige gevallen is dat gewenst. Bijvoorbeeld wanneer plaatselijk te veel waterdamp condenseert, zorgt thermische isolatie voor een verhoging van de oppervlaktetemperatuur waardoor condensatie uitblijft. Daarnaast zorgen hogere oppervlaktetemperaturen ook voor een hoger thermisch comfort.

Isolatie kan ook een aantal negatieve effect hebben. Door het isoleren van monumentale constructies kunnen koudebruggen (zie paragraaf 6.5.1) ontstaan. Houten of stalen balken van vloeren, kozijnen of spantbenen zijn bekende gebouwonderdelen die na isolatie de isolatielaag doorbreken en een koudebrug vormen. Afhankelijk van het binnenklimaat kan op deze constructieonderdelen waterdamp condenseren of zelf inwendige condensatie optreden met alle gevolgen van dien. Verder zorgt isolatie ook voor kierdichting. Hierdoor vermindert de infiltratie van buitenlucht en zijn wellicht aanvullende natuurlijk of mechanische ventilatievoorzieningen nodig. Het aanbrengen van dergelijke voorzieningen hebben uiteraard ook weer effect op het monumentale gebouw.

In de onderstaande tabel (Tabel 6) is een aantal effecten van na-isolatie opgesomd. Elk effect heeft een gevolg. Dat kan positief of negatief zijn. Voor elk gevolg is een oorzaak te noemen.

Het na-isoleren kan dus zeer nadelige gevolgen hebben. In de onderstaande afbeelding (Afbeelding 12) is dat duidelijk te zien. In dit voorbeeld is een spouwmuur na-geïsoleerd. Dat hoeft geen probleem te zijn, zolang maar aan een aantal voorwaarden wordt voldaan. Zo moet onder andere de buitengevel in goede staat verkeren, de steen niet vorstgevoelig zijn en ook niet dampdicht zijn afgewerkt. Daarnaast moet het vulmateriaal niet capillair zijn en moet het patroon van vullen voldoende dicht zijn. In dit voorbeeld werd niet aan de eerste drie voorwaarden voldaan met onherstelbare schade tot gevolg. Overigens komen spouwmuren in historische gebouwen niet veel voor en zijn ze vaak partieel wat het lastig maakt om deze goed te vullen.

Afbeelding 12
Vorstschade aan een buitengevel waarvan de spouw is nagevuld. Door een te zachte kwaliteit ontstond vorstschade. Om de wateropname te reduceren is de buitengevel gehydrofobeerd. Hierdoor verergerde het probleem (foto: H.C. Badoux).

6.4 Plaats van de isolatie

Vanuit de bouwfysica is het isoleren aan de buitenzijde het meest gunstig. De kwetsbare constructieonderdelen bevinden zich altijd aan de warme zijde van de isolatielaag. Verhoging van het materiaalvochtgehalte of relatieve luchtvochtigheid nabij het binnenoppervlak treedt niet op. Maar, vanuit het oogpunt van de monumentale waarden is isolatie aan de buitenzijde meestal niet mogelijk, omdat hier vaak een aanzienlijk deel van de waarden zit. Isolatie aan de binnenzijde vraagt vanuit de bouwfysica en behoud van het monumenten om extra aandacht als het gaat om detaillering en uitvoeringskwaliteit. Wanneer deze onvoldoende zijn, is schade op termijn onvermijdelijk. Een bouwfysische toets is aan te bevelen. Vooral bij isolatieoplossing aan de binnenzijde kan een bouwfysische toets vooraf ellende achteraf voorkomen.

Tabel 6

Effecten en gevolgen van na-isolatie

Effect	Gevolg	Oorzaak
Verlaging energieverlies	Lagere energierekening	Door na te isoleren wordt de weerstand tegen energietransport verhoogd. Energie blijft dus beter in de woning.
Verhoging temperatuur binnenblad	Vermindering condens	Waterdamp uit de lucht zal minder snel condenseren bij een hogere temperatuur.
	Verhoging comfort	Ons lichaam zal minder energie uitstralen naar deze oppervlakken.
Verlaging temperatuur buitenblad	Scheurvorming	De temperatuurverschillen nemen toe, waardoor materialen meer zullen gaan verlengen en verkorten. Hierdoor kunnen spanningen ontstaan die tot scheurvorming kunnen leiden.
	Langzamere droging	Water verdampt langzamer bij een lagere temperatuur.
Verhoging materiaalvochtgehalte	Vorstschade	Wanneer materialen langer nat zijn, neemt de kans op vorstschade toe. Wanneer materialen vochtiger worden neemt de kans op vorstschade toe.
	Alg- en mosgroei	Algen en mossen hebben een voorkeur voor plekken die langer nat blijven.
	Schimmelvorming	Om te groeien hebben schimmels voeding, zuurstof, water en energie nodig. Voeding zijn de organische bouwmaterialen, zuurstof zit in de lucht, en tempratuur en water komen uit de omgeving. Dat kan een hoge relatieve luchtvochtigheid zijn of regenwater.
	Houtrot	Sommige schimmels hebben een voorkeur voor hout.
Vergroting stralingasymmetrie	Vermindert comfort	Wanneer het menselijk lichaam niet gelijkmatig wordt aangestraald, voelen we ons minder comfortabel.

6.5 Detaillering en uitvoeringskwaliteit

Bij het isoleren van monumentale gebouwen, of het nu gaat om wanden, daken, vloeren of funderingen, is de detaillering van groot belang om schade te voorkomen. Een belangrijk aandachtspunt bij isoleren zijn de koudebruggen. Hierdoor kan inwendige of oppervlaktecondensatie ontstaan door respectievelijk dampdiffusie en convectief vochttransport. Dampdiffusie is bij koudebruggen moeilijk te vermijden. Convectief damptransport daarentegen kan worden voorkomen door zorgvuldig te detailleren en nog belangrijker een zorgvuldige uitvoering. Bij veel schadegevallen ontbreekt vooral dit laatste. Zeker bij functies met een hoge vochtbelasting, zoals woon- of museumfunctie, moet isolatie heroverwogen worden wanneer een zorgvuldige uitvoeringskwaliteit niet gewaarborgd kan worden.

6.5.1 Koudebruggen

Doordat in monumentale gebouwen na-isolatie in de meeste gevallen aan de binnenzijde zal plaatsvinden komt het vaak voor dat in scheidingsconstructies isolatielagen plaatselijk zijn doorbroken door een materiaal met een grotere warmtegeleidingscoëfficiënt. Er is dan sprake van een koudebrug (ook wel warmtebruggen of warmtelekken genoemd): een punt- of lijnvormige onderbreking van de isolatielaag. De warmtestroomdichtheid ter plaatse van een koudebrug neemt toe, waardoor de temperatuur daalt. Ter plaatse heerst er een grotere warmtestroomdichtheid. Voorbeelden van koudebruggen zijn verankeringen, zoals spouwankers, delen van een draagconstructie die door de isolatie heen steken, zoals een stalen of houten balk

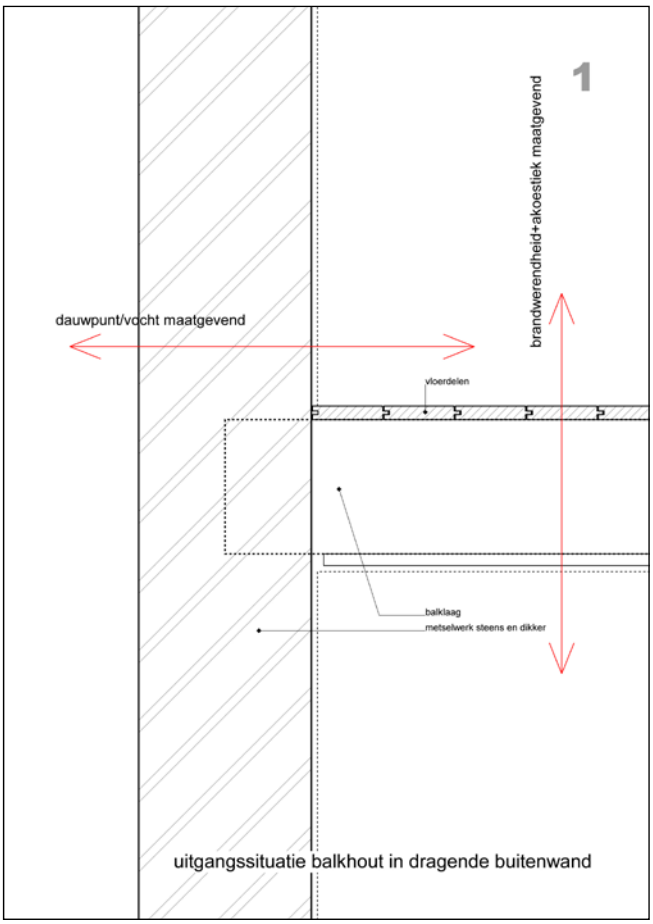
opgelegd in de gevel en uitkragingen, zoals balkons en overstekken.
Koudebruggen vragen om drie gevaren grote aandacht:

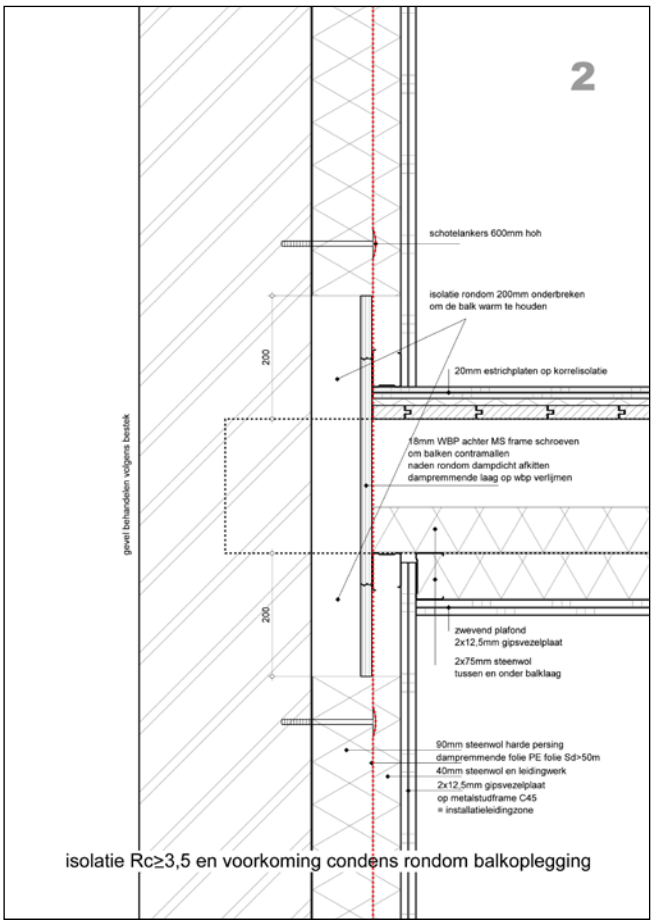
- Koudebruggen vergroten het warmteverlies door transmissie;
- Aan het binnenoppervlak ter plaatse van de koudebrug zal de temperatuur lager zijn. Daarbij moet opgelet worden dat daar geen condensatie of hoge relatieve luchtvochtigheden optreden;
- Door het grote temperatuurverloop in een koudebrug ontstaan spanningen die tot scheurvorming aanleiding kunnen geven.

Idealiter worden koudebruggen dus altijd vermeden. Waar ze toch onvermijdelijk zijn, moeten de consequenties zorgvuldig nagegaan te worden. Zo nodig kan het nadelige effect verminderd worden door het 'inpakken' van de constructie met een isolerend materiaal.

6.5.2 Luchtdichtheid

Belangrijk bij het dampdicht isoleren is dat waterdamp niet eenvoudig de constructie binnen kan dringen. Om dat te voorkomen is een laag nodig die voldoende weerstand biedt tegen waterdamptransport: de dampremmende laag. Deze laag moet aan twee voorwaarden voldoen. Ten eerste moet het dampdiffusieweertandsgetal (μ>60.000) of de -waarde (S_d>5-25 m) groot zijn. Ten tweede, en dat is wellicht het belangrijkst, moet deze laag luchtdicht zijn. Convectief vochttransport is veel beter in staat om waterdamp te transporteren dan diffusie. Er mag geen lucht kunnen stromen van binnen naar buiten via de constructie. Dat zit niet alleen in de dampremmende laag. Deze mag niet geperforeerd wordt tijdens het aanbrengen of later tijdens het gebruik als gevolg van het ophangen van bijvoorbeeld een schilderij. Het zit vooral in de aansluiting van de dampremmende laag op de





Afbeelding 13A-B
Mogelijke oplossing om het koudebrugprobleem te verkleinen of te vermijden: rondom de balkkop wordt 20 centimeter vrij gehouden, zodat het temperatuurprofiel niet of nauwelijks wijzigt en daarmee ook het vochtprofiel niet of nauwelijks (bron: Matthe Treijtel BV Stadsherstel Maassteden/Climatic Design Consult)

bestaande constructie. Deze moet echt luchtdicht zijn. De dampremmende lagen moeten dus altijd gecontroleerd worden voordat de wanden gesloten worden.

Bij een dampdichte isolatiemethode is het, naast het feit dat de dampremmende laag voldoende weerstand moet hebben tegen damptransport, ook belangrijk dat het voldoende luchtdicht wordt aangebracht. De reden hiervoor is dat de hoeveelheid waterdamp die getransporteerd wordt onder bepaalde omstandigheden een veelvoud is van de hoeveelheid waterdamp die getransporteerd wordt door dampdiffusie.

6.6 Gebouwonderdelen

Per gebouwonderdeel verschillen de aandachtspunten enigszins. Hieronder zijn de meest belangrijke aandachtspunten opgesomd.

6.6.1 Daken, binnenzijde

In principe heeft isolatie aan de binnenzijde van de kap de voorkeur. Tenzij monumentale waarden dit niet toelaten, zoals bij een bijzonder interieur. Bouwfysisch gezien is dit echter een lastiger opgave. In hoofdzaak kunnen er drie situaties van binnenisolatie worden onderscheiden:

- Isolatie en dampremmende laag tussen de sporen;
- Isolatie tussen de sporen en dampremmende laag over of op de sporen
- Isolatie en dampremmende laag over of op de sporen.

Bij isolatie en dampremming tussen de sporen worden van binnenuit eerst isolatie en dan een dampremmende laag tussen de sporen aangebracht. Het aanbrengen van de dampremmede laag is hier het lastigst vanwege de noodzakelijke kierdichting. De sporen blijven daarbij in het zicht.

Bij isolatie tussen de sporen en dampremming over de sporen of isolatie en dampremming over de sporen is het binnenaanzicht vlak. De sporen verdwijnen uit het zicht. Het bouwfysisch risico is in beide gevallen even groot maar kleiner dan de hiervoor genoemde oplossing. In het laatste geval wordt de inwendige ruimte kleiner. Deze is wel het meest eenvoudig aan te brengen.

In alle gevallen bevat de isolatieconstructie bij voorkeur geen holtes en is deze luchtdicht. Is dit niet gegarandeerd dan kan het gevolg zijn dat er condensatie op de houten delen van de kapconstructie plaatsvindt, wat aantasting (houtrot) tot gevolg kan hebben. Het isoleren aan de binnenzijde vereist dus een zeer zorgvuldige damp- maar vooral luchtdichte uitvoering, om een afdoende afsluiting te kunnen garanderen (zie paragraaf 6.5.2).

Isolatie aan de binnenzijde tast het aanzicht aan (Afbeelding 14). Daarnaast is de kans op bouwfysische problemen groot door de vaak lastige detailleringen. Het kierdicht aanbrengen van isolatiemateriaal en dampremmende lagen is niet eenvoudig. Afhankelijk van de dakbedekking neemt de kans op problemen toe. Metalen daken zijn immers dampdicht en kunnen 's nacht behoorlijk afkoelen met mogelijk inwendige condensatie tot gevolg.

Vanuit oogpunt van monumentenzorg heeft isolatie aan de binnenzijde van de kap de voorkeur. Tenzij monumentale waarden dit belemmeren zoals bij een bijzonder interieur. Bouwfysisch gezien is dit echter een lastiger opgave. De isolatieconstructie bevat bij voorkeur geen holtes en moet luchtdicht zijn. Bij binnenisolatie worden dampremmende folie en isolatiemateriaal tussen of aan de warme zijde van de sporen aangebracht. Dit geeft niet gegarandeerd een bouwfysisch correcte luchtdichting. Het gevolg kan zijn dat er condensatie in de houten delen van de kapconstructie plaatsvindt, wat aantasting (houtrot) tot gevolg kan hebben. Het isoleren aan de binnenzijde vereist dus een zeer zorgvuldige damp- maar vooral luchtdichte uitvoering, om een afdoende afsluiting te kunnen garanderen.

Afbeelding 14
Isoleren van een kap aan binnenzijde moet zorgvuldig gebeuren. Vooral de dampremmende laag, hier nog niet aangebracht, moet luchtdicht aansluiten en dat is met de constructie in het zicht niet eenvoudig.

6.6.2 Daken, buitenzijde

Het isoleren van een kap heeft gevolgen voor de dakopbouw: pannen en panlatten, eventueel historische (riet)isolatie en de kapconstructie zelf. Over het algemeen lijkt het isoleren aan de buitenzijde van de kap het meest eenvoudig en bouwfysisch het minst risicovol: pannen en eraf, een isolatielaag aanbrengen en de pannen er weer op. Echter tegen het isoleren aan de buitenzijde bestaan grote bezwaren omdat de visuele beleving en daardoor de monumentale waarde van de karakteristieke kap aangetast wordt. De dikte van het nieuwe isolatiemateriaal wordt aan de dakopbouw worden toegevoegd wat zorgt dat de daklijn meer naar buiten komt te liggen en door het aanbrengen van de nieuwe beplating verdwijnt de 'beweging' die in de kap zichtbaar is. De oude historische bouwmaterialen (stammetjes e.d.) waren lang niet zo strak en recht als de hedendaagse materialen. Technisch gezien geeft de isolatie aan de buitenzijde vooral problemen met aansluitingen op onder andere de dakkapellen, schoorstenen, dakranden, goten, boeidelen enzovoorts. Om de aansluitingsproblemen op te lossen zijn er meer werkzaamheden nodig dan strikt noodzakelijk. Het heeft dan ook de voorkeur een historische kap aan de binnenzijde te isoleren.

6.6.3 Zolders

De ruimte onder de kap heeft in veel panden van oorsprong de functie van opslag- of droogruimte. Het hedendaagse gebruik als verblijfsruimte vraagt om comfortverbetering als meer daglicht en isolatie hogere temperatuur. Dat laatste kan efficiënter bereikt worden door de kap na te isoleren. De eerste vraag is of het isoleren van de kap voor het toekomstig gebruik noodzakelijk is. Wanneer zolders niet gebruikt worden, verdient het de voorkeur om de vliering- of zoldervloer te isoleren. Op die manier kan de ventilatie van de kap behouden blijven, hetgeen de instandhouding ten goede komt.

In hoofdzaak kunnen er drie situaties van isolatie worden onderscheiden:
- Isolatie en dampremmende laag op de balken van bovenaf aangebracht;
- Isolatie en dampremmende laag tussen de blaken van bovenaf aangebracht;
- Isolatie en dampremmende laag tussen de blaken van onderaf aangebracht;
- Isolatie tussen en dampremmende laag over de balken van onderaf aangebracht;
- Isolatie en dampremmende laag onder de balken.

6.6.4 Wanden

Voor de isolatie van de buitengevel van het monument kunnen we onderscheid maken tussen:
- Buitenisolatie;
- Binnenisolatie op spouw
- Binnenisolatie zonder spouw
- Spouwisolatie.

Afbeelding 15
Isoleren van een kap aan buitenzijde is bouwfysisch gezien de beste oplossing. Het levert soms wel problemen op bij de aansluiting van onder andere goten, schoorstenen, dakkapellen.

Afbeelding 16
Isolatie aan de buitenzijde zonder afwerking (foto: Roel Lichtenberg)

6.6.5 Wanden, buitenzijde

Bij de meeste monumenten komt buitenisolatie niet in aanmerking vanwege de esthetische verstoring van het exterieur of gevelbeeld. In sommige gevallen is er sprake van een gepleisterde buitengevel. In dat geval kan gekozen worden voor een buitenisolatie met een pleisterwerk afwerking (Afbeelding 16). De geveldikte neemt hierdoor toe waardoor mogelijk aanpassingen nodig zijn van kozijn- en dakdetails. Bouwfysisch gezien is dit een goede oplossing.

6.6.6 Wanden: binnenzijde

In het algemeen is binnenisolatie niet toepasbaar in gebouwen waarbij:
de gevel uit niet-vorstbestendige materialen bestaat;
de gevelafwerking dampdicht is, of uit dampdichte gevelstenen bestaat;
de gevel aan een hoge vochtbelasting onderhevig is;
sprake is van een zeer vochtig binnenklimaat.

Binnenisolatie is alleen mogelijk bij gevels met voldoende dik metselwerk en/of een relatief geringe (slag)regenbelasting. In het algemeen is er geen probleem voor:

- volle muren uit metselwerk met een dikte van twee steen of dikker,
- volle muren uit 1½ steen metselwerk met een geringe regenbelasting,
- volle muren uit betonblokken met gesloten structuur of gegoten beton
- (on)geïsoleerde spouwmuren,
- binnenmuren.

Een goede beoordeling van de regenbelasting op de gevel is cruciaal voor het voorkomen van schade als gevolg van vorst en vocht. Vochtproblemen, zoals optrekkende vocht, dienen eerst opgelost te worden. Wanneer in deze wanden gebruik wordt gemaakt van zogenaamde zware isolatiematerialen met een grote soortelijke warmtecapaciteit is het afsluiten van de aanwezige thermische massa opgelost.

Tal van details wijzigen als het isolatiepakket aan de binnenzijde wordt toegepast. Let vooral op de dagkanten van vensters. Deze vormen de zwakke plekken van het isolatiepakket. Bij de aanwezigheid van originele wandafwerkingen, zoals textiele wandbespanningen, goudleerbehang of houtenlambriseringen, zullen de cultuurhistorische waarden worden aangetast. Wandschilderingen zijn moeilijk te behouden door de fysieke bevestiging van het isolatiepakket. Ook aansluitingen op binnenwanden en vloeren zijn een punt van aandacht vanwege het ontstaan van koudebruggen. Het doorzetten of omzetten van de isolatielagen heeft hier de voorkeur. Voorzetwanden op spouw kunnen problemen opleveren wanneer de spouw met binnenlucht wordt geventileerd.

Ook opleggingen van houten balken in metselwerk, waarbij de houten balken een doorgang of onderbreking van de isolatielaag vormen, zijn kritisch. Het hout wordt bij koude opleggingen mogelijk blootgesteld aan een hoge relatieve luchtvochtigheid. Het houtvochtgehalte kan daardoor kritische grenzen bereiken (typisch > 21%) met alle gevolgen van dien (zie Brochure 21). Bij balkopleggingen moet de dampremmende laag tot aan de balk aansluiten en goed luchtdicht worden aangebracht door het bijvoorbeeld te plakken.

Afbeelding 17A-B
Isolatie aan de binnenzijde waarbij de uitvoering van isolatie en vooral dampremmende lagen zeer zorgvuldig moet gebeuren. Dagkanten van vensters, balklagen, enzovoorts verdienen daarbij bijzondere aandacht. Houd rekening met het ontstaat van koudebruggen.

6.6.7 Wanden, binnenisolatie met spouw (binnenzetwand)

Niet alle wanden in historische gebouwen zijn even vlak. Om die reden wordt vaak gebruik gemaakt van een binnenzetwand of voorzetwand. Deze voorzetwand moet op spouw geplaatst worden, waarbij met buitenlucht geventileerd moet worden. Het ventileren met buitenlucht is lastig, omdat er openingen in de buitengevel moeten worden gemaakt. In die gevallen wordt er gekozen om de spouw niet te ventileren. Dat kan mits lucht vanuit de binnenruimte niet in de spouw kan dringen. Ventilatie met binnenlucht is uit den boze vanwege schimmelgroei.

6.6.8 Wanden, binnenisolatie zonder spouw

Het creëren van een spouw moet indien mogelijk dus worden voorkomen. Ook holtes zijn ongewenst. De reden hiervoor is dat lucht kan stromen in deze spouw of holtes. Lucht uit de binnenruimte kan de spouw indringen waar de lucht afkoelt en condenseert. Dat effect is groter naarmate het isolatiepakket dikker is, want dat wordt kouder dan in de ongeïsoleerde situatie. Een geïsoleerde binnenzetwand van metal stuc is dus een goede oplossing. Vooral wanneer de spouw nog met extra isolatie wordt dichtgezet (Afbeelding 18).

Maar ook een geïsoleerde binnenzetwand van stijl- en regelwerk op spouw waarbij die spouw eveneens is dichtgezet, is een goede oplossing (Afbeelding 19)

Capillair actieve isolatiematerialen (zie paragraaf 5.2) zijn ook geschikt voor gevelisolatie. Deze materialen bezitten een iets hoger warmtegeleidingscoëfficiënt dan de traditionele isolatiematerialen. Hierdoor is hun thermische prestatie wat lager. Hun vochttechnische eigenschappen daarentegen zijn wat gunstiger. Ze zijn relatief dampopen en hun wateropnamecapaciteit is groot

Afbeelding 18
Om luchtstromingen achter de isolatie te voorkomen kan de ruimte achter de binnenzetwand ook worden opgevuld. In de hier getoonde metal stud binnenzetwand moet dat nog gebeuren, maar het is goed uitvoerbaar.

(A>0,2 kg/m²/s^{0,5}). Doordat dergelijke materialen in capillaire verbinding staan met de ondergrond, zal vocht in het materiaal condenseren. Door de gunstige vochttechnische eigenschappen wordt dit vocht door het isolatiemateriaal opgenomen, herverdeeld en zal het op een gunstig moment (zomer) weer verdampen. Voorwaarde hiervoor is dat ze volledig verlijmd tegen de ondergrond worden aangebracht. De lijm zorgt voor een hydraulisch contact dat vochttransport faciliteert. De ondergrond zelf moet vlak zijn en mag geen hydrofobe afwerklaag hebben. In sommige gevallen betekent dat dat de ondergrond voorbewerkt moet worden. Zijn er bijzondere afwerklagen aanwezig dan gaan deze dus verloren en is de methode niet geschikt.

6.6.9 Wanden: spouwmuur

In sommige monumenten, veelal na 1900, komt een spouwmuur voor. Aan isolatie van spouwmuren is veel onderzoek gedaan. Met name de drogende effecten van een spouwmuur werden vaak overschat. Isolatie van spouwen met een materiaal die geen vochtbrug vormt en geen krimpgedrag vertonen zijn te overwegen. Ook dient de spouw vooraf gecontroleerd te worden op onvolkomenheden, zoals vochtbruggen in de vorm van speciebaarden. Ook hier is een toets op vorstgevoeligheid noodzakelijk. Het isoleren van spouwen blijkt in de nieuwbouwpraktijk niet of nauwelijks meer tot schade te leiden. Spouwmuurconstructies in monumentale gebouwen daarentegen voldoen in het algemeen niet aan de voorwaarden voor een risicoloze uitvoering in verband met diepte, homogeniteit enzovoorts. Pas na onderzoek van de spouw kan spouwmuurisolatie overwogen worden.

Het na-isoleren van historische spouwmuren is niet altijd zonder risico. Oude ongeïsoleerde spouwmuren zijn namelijk niet gebouwd om geïsoleerd te worden. De spouw is niet overal even

Afbeelding 19

Binnenzetwand met houten stijl- en regelwerk. Nadat de isolatie tussen de stijlen is aangebracht kan de dampremmende laag worden aangebracht, waarna de binnenzetwand kan worden afgewerkt. De leidingen voor de elektra zijn al aangebracht, maar de afwerking aan de binnenzijde moet nog luchtdicht worden uitgevoerd.

breed en schoon opgeleverd. Bij een te ondiepe spouw kan het isolatiemateriaal zich niet goed verdelen. Het isoleren kan echter aantrekkelijk zijn in verband met lagere stookkosten, maar de gevolgen kunnen bij een monument verkeerd uitpakken. Er zijn verschillende oorzaken die het beoogde doel teniet kunnen doen. Uit onderzoek blijkt echter dat er geen fundamenteel bezwaar is tegen het vullen van spouwen. Daar is wel een aantal voorwaarden aan verbonden:

1. De muren verkeren in goede staat. Door na te isoleren neemt de kans op vorstschade en scheurvorming toe. Isoleer muren die al last hebben van vorstschade of vochtdoorslag liever niet na. Door na-isolatie is het buitenblad onderhevig aan grotere temperatuurschommelingen en neemt het temperatuurverschil tussen het binnen- en het buitenblad toe. Dit vergroot de kans op scheurvorming.
2. De buitenzijde mag niet dampremmend zijn afgewerkt. Buitenbladen bestaande uit geglazuurde steen of verblendsteen kunnen schade oplopen door het na-isoleren van de spouw. Een verflaag aan de buitenzijde kan hetzelfde gevolg hebben.
3. De spouwvulling moet op een adequate wijze wordt aangebracht. Van belang is dat het vulpatroon voldoende dicht is.
4. Het materiaal moet geschikt zijn. Een vulmateriaal mag niet capillair zijn en moet een dichtgepakte homogene laag vormen zonder scheuren of holtes. Schuimvormige materialen mogen na verloop van tijd geen scheuren vertonen en materialen in bulkvorm moeten voldoende dichtgepakt in de spouw worden aangebracht. Bovendien moet het isolatiemateriaal een lage λ-waarde behouden wanneer het toch een geringe hoeveelheid water zou opnemen.

Wordt aan één van deze voorwaarden niet voldaan dan zijn schadegevallen onvermijdelijk.

6.6.10 Vloeren met kruipruimte of kelder

In gebouwen met een kruipruimte of kelder zijn in principe drie manieren op de warmteverliezen te beperken:

» Isolatie aanbrengen op de bestaande vloer;
» Isolatie aanbrengen direct aan de onderzijde van de vloer;
» Isolatie aanbrengen op de bodem van de kruipruimte.

Het voordeel van het aanbrengen van isolatie op de bestaande vloer is dat er geen werkzaamheden hoeven plaats te vinden in de kruipruimte of kelder. Een nadeel is dat de bestaande houten draagconstructie kouder wordt. De relatieve luchtvochtigheid rondom de balken en vloerdelen neemt daar namelijk toe. De groeiomstandigheden voor schimmels worden hierdoor gunstiger. De levensduur wordt drastisch verkort. Nadelig is ook dat de beschikbaar hoogte van de ruimte minder wordt. Ook moeten binnendeuren worden ingekort. Maar ook eventuele aanwezige wandafwerkingen moeten worden aangepast of krijgen andere verhoudingen. De dikte van het isolatiepakket is daarom beperkt. Het zal daarom vooral toe te passen zijn bij vloeren op staal of vloeren waarvan de kruipruimte niet bereikbaar is.

Isolatie aan de onderzijde van de vloer is vanuit bouwfysisch oogpunt het meest gunstig. Bij een houten begane grondvloer krijgen de balken een hogere temperatuur. De kans op houtrot wordt sterk gereduceerd. Daarnaast kan de ventilatie van de kruipruimte behouden worden. Het is wel aan te bevelen om bij droge kruipruimten een kunststoffolie op de bodem aan te brengen. Dit vermindert de verdamping van grondvocht. Aantasting van strijkbalken wordt daarmee voorkomen. Ook de warmteverliezen via de fundering nemen af in vergelijk met isolatie op de bodem. De luchtdichtheid van de vloer neemt toe wat een gezonder binnenklimaat oplevert. Belangrijk is om de isolatie bij voorkeur zonder spouw aan te brengen. Een spouw reduceert de thermische werking.
Bij steenachtige vloeren kan eventueel onder de vloer een isolatielaag, meestal PUR worden aangebracht. Kwaaitaai vloeren zijn moeilijk na te isoleren. Mogelijk dat een PUR laag aangebracht kan worden, maar dit kan ten koste gaan van de monumentale waarden.

Het aanbrengen van isolatie op de bodem heeft als voordeel dat het eenvoudig is uit te voeren. De verdamping van grondwater wordt beperkt. De kruipruimte mag echter niet meer worden geventileerd om de isolatielaag niet kort te sluiten. Ook is het aan te bevelen de luchtdichtheid van de vloer te verbeteren.

6.6.11 Vloeren zonder kruipruime of kelder

In gebouwen zonder kruipruimte of kelder zijn in principe twee manieren op de warmteverliezen te beperken:

» Isolatie aanbrengen op de bestaande vloer;
» Isolatie aanbrengen direct aan de onderzijde van de vloer.

Het aanbrengen van isolatie op de bestaande vloer is hetzelfde als hierboven beschreven. Voor het aanbrengen van isolatie aan de onderzijde van de vloer dient te vloer gedemonteerd of opgenomen te worden. Bij houten vloeren in het zand dienen de planken gedemonteerd of verwijdert te worden om de beschikbare ruimte wat uit te diepen en tussen de balken isolatie en dampremming aan te brengen. Alleen vloeren die goed gedemonteerd worden zijn vanuit oogpunt van monumentenzorg na te isoleren. Andere vloeren zoals terrazzo of mozaïek vloeren zijn, komen eigenlijk niet voor na-isolatie in aanmerking.

6.7 Ventileren en isoleren

Isoleren leidt tot ventileren. Door het isoleren van de gebouwschil wordt de ventilatiehoeveelheid beperkt. Als vuistregel kan voor historische gebouwen een ventilatievoud[6] van 0,8 tot 1,0 worden aangehouden. Dat is globaal twee keer de ventilatiehoeveelheid die voor moderne gebouwen wordt geadviseerd. Voor gebouwen (nieuwbouw en bestaande bouw) houdt het bouwbesluit een minimum ventilatiehoeveelheid aan van 7 dm^3/s en 14 dm^3/s voor badkamers. In het algemeen is het ventilatievoud van historische gebouwen groter. Enige reductie van infiltratie is dus mogelijk en levert soms een aanzienlijke bijdrage aan de energiebesparing. Voor de instandhouding van het gebouw is het echter belangrijk de infiltratiehoeveelheid niet te veel te reduceren. In dat geval zijn aanvullende ventilatievoorzieningen noodzakelijk. Deze hebben gevolgen voor het gebouw en de cultuurhistorische waarden daarvan.

[6] Ventilatievoud: het aantal keren per uur dat een ruimte wordt doorspoeld met (verse) lucht.

7. Kosten en opbrengsten

Na-isoleren van de woning is een compromis tussen verschillende ambities (zie Hoofdstuk 2). Maar hoe duur is na-isoleren nu precies en wat zijn de terugverdientijden? En is het waardeverlies dat daar bij hoort wel gewenst? In het gunstigste geval wordt de maatregel toegepast met de grootste duurzaamheid of energiebesparing bij de laagste kosten waarbij zo min mogelijk cultuurhistorische waarden verloren gaan.

7.1 Investeringskosten

Bij het maken van de juist keuze is het belangrijk een aantal zaken scherp te krijgen. Allereerst is het belangrijk om te weten wat de investeringskosten zijn. Het gaat daarbij om de initiële kosten (materiaal en arbeid) en de kosten van onderhoud over de levensduur. Een wat grotere investering aan het begin kan soms op de langere termijn een besparing met zich meebrengen. Uiteraard afhankelijk van het beschikbare budget. De kosten hangen ook af van de methode en het materiaal. De capillair actieve methoden zijn doorgaans wat duurder dan de traditionele materialen. Dat heeft niet alleen met het product te maken, maar ook met de verwerkbaarheid ervan.

7.2 Besparing

Naast de investeringskosten wordt er hopelijk ook een besparing gerealiseerd op de energiekosten bespaard. Het quotiënt van investeringskosten en besparing is de terugverdientijd (TVT). De praktijk leert dat deze voor veel bewoners of eigenaar in nieuwbouw kleiner moet zijn dan 7 jaar voordat zij overgaan tot uitvoering. Voor monumenteneigenaren zal dat ook gelden.

7.3 Cultuurhistorische waarden

Na-isolatie gaat altijd gepaard met verlies van cultuurhistorische waarden (paragraaf 2.1). Afhankelijk van de methode is dit verlies groter of kleiner. De verschillende methoden worden in paragraaf 5.2 opgesomd.
Niet alle methoden zijn geschikt om door de eigenaar of bewoner zelf te worden uitgevoerd. Het werk moet in die gevallen worden uitgevoerd door een gecertificeerd bedrijf met aantoonbare ervaring in historische gebouwen. Zij kunnen de vereist uitvoeringskwaliteit bereiken, doordat ze bekend zijn met het product en begrijpen waar het in historische gebouwen om gaat. Ook zijn niet alle methoden zijn geschikt voor alle gebouwonderdelen. Capillair actieve isolatiemethoden zijn typisch voor wanden. In het onderstaande overzicht (Tabel 3) is aangegeven welke methoden voor welk gebouwonderdeel in aanmerking komen. Ook zijn per methode de specifieke voor- en nadelen aangegeven.

Tabel 3 een overzicht gegeven over de mate van het waardeverlies. Soms zijn waarden nog wel aanwezig maar niet meer zichtbaar. En soms maakt het ook voor welke gebouwonderdeel de methode wordt toegepast. Aan de andere kant zijn sommige restauratie- of

Tabel 7

Investeringskosten, besparing en terugverdientijden voor verschillende gebouwonderdelen
(genoemde getallen zijn een indicatie en gebaseerd op diverse bronnen)

Type isolatie	Gemiddeld oppervlak	Gemiddelde investe-rings-kosten	Besparing	Terugverdientijd (TVT)
	[m^2]	[€]	[%]	[jaar]
Dak	50-76	1675-5200 10-25/m^2	7-25	7-8
Zolder		25/m^2	8-10	5-8
Gevel (binnenzijde)		5-25/m^2		
Gevel (spouw)	46-105	700-2000 15/m^2	10-25	3-5
Gevel (buitenzijde)		115-155/m^2	25	8-13
Venster				
Vloer	40-100	1350-3600	7-15	7-12
Bodem	40-100	1350-2600	15	12

herbestemmingsprojecten alleen maar mogelijk vanwege deze ingrepen en moeten we het waardeverlies op de korte termijn goed afwegen tegen het objectbehoud op de langere termijn.

7.4 Instandhouding en conservering

In paragraaf 6.3 is gewezen op de gevaren van na-isolatie. Ontstaat schade, dan gaan onherroepelijk cultuurhistorische waarden verloren. Soms kan na-isolatie ook helpen bij het instandhouding en conservering van een historische constructie. Een isolatiepakket aan de buitenzijde zorgt ervoor dat de bestaande constructie warmer blijft. De kans op vochtschades neemt daardoor af. Sommige constructies uit het verleden zijn niet gebouwd volgens de bouwfysische spelregels en daardoor kwetsbaarder. Toch zijn deze heel waardevol en om die reden niet zomaar aan te passen. Een buitenisolatie kan dan uitkomst bieden.

8. Wet- en regelgeving

Voor de eigenaar of bewoner van een beschermd object is het soms lastig een weg te vinden in de veelheid van wetten en regels. Duurzaamheid is een hot-topic waar momenteel veel over geschreven wordt. Maar wat zijn nu echt de wettelijke kaders? In dit hoofdstuk wordt dit kader kort geschetst. Hiernaast staat in paragraaf 3.5 meer informatie hoe de eigenaar of bewoner met de gemeente in contact komt. Dit is belangrijk om te achterhalen wat het gemeentelijk beleid is met betrekking tot bepaalde duurzaamheidsingrepen.

8.1 Erfgoedwet

De Erfgoedwet is op 1 juli 2016 in werking getreden en heeft op het vlak van gebouwd erfgoed en archeologie de Monumentenwet 1988 vervangen. De Erfgoedwet is een overkoepelende wet die geldt voor onder andere gebouwd erfgoed, archeologie en roerend cultureel erfgoed. In deze wet ligt de wettelijke basis voor bijvoorbeeld het aanwijzen van rijksmonumenten. Ook volgt uit deze wet een verbod op beschadiging of vernieling van rijksmonumenten en op het achterwege laten van noodzakelijk onderhoud. Maar ook bevat de Erfgoedwet de basis voor het financiële kader voor subsidies en laagrentende leningen.

8.2 Wabo

De wettelijke basis voor de omgevingsvergunning die nodig is om ingrepen in, aan of op een rijksmonument te mogen doen, ligt in de Wet algemene bepalingen omgevingswet (Wabo) besloten. De gemeente is het aanspreekpunt voor vergunningen betreffende verbouwingen in of aan een monument. De Wabo geeft globaal aan in welk geval een vergunning nodig is. In het geval van een rijksmonument staat er in artikel 2.1 lid 1 onder f Wabo dat er een omgevingsvergunning vereist is voor het slopen, verstoren, verplaatsen of in enig opzicht wijzigen van een rijksmonument of het herstellen, gebruiken of laten gebruiken van een rijksmonument op een wijze waardoor het wordt ontsierd of in gevaar gebracht. Hiernaast zijn er ook werkzaamheden die zonder omgevingsvergunning mogen worden uitgevoerd. Een voorbeeld hiervan is regulier onderhoud waarbij detaillering, profilering, vormgeving, materiaalsoort en kleur niet wijzigen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het schilderen van kozijnen in dezelfde kleur. Aan de medewerker monumenten van de gemeente kan worden gevraagd welke werkzaamheden er zonder vergunning mogen worden uitgevoerd (zie de brochure *Vergunningvrij*, te vinden via: www.cultureelerfgoed.nl).
Ook voor gemeentelijke monumenten is de Wabo van belang en kan de gemeente aangeven waar een omgevingsvergunning voor moet worden aangevraagd en wat zonder vergunning mag worden uitgevoerd.

8.3 Bouwbesluit 2012

Het Bouwbesluit 2012 regelt voor nieuwbouw in hoofdstuk 5 de 'voorschriften vanuit het oogpunt van energiezuinigheid'. Voor nieuwbouw zijn er eisen gesteld aan de minimale Rc-waarde (warmteweerstand van een constructie) voor de verschillende gebouwonderdelen (zie ook paragraaf 6.3.3). Voor bestaande bouw kent het Bouwbesluit 2012 geen voorschriften, en dus ook niet voor monumenten. Dit geldt echter niet wanneer een monumentaal gebouw wordt herbestemd, verbouwd of uitgebreid. In dat geval zijn de nieuwbouweisen van kracht. Maar het Bouwbesluit 2012 kent in artikel 1.13 de mogelijkheid om in een omgevingsvergunning voor wijziging van een beschermd monument voorschriften op te nemen die afwijken van de voorschriften van het Bouwbesluit 2012, waardoor die laatste buiten toepassing blijven.

8.4 Energielabel

Elke woning moet sinds 1 januari 2008 bij verhuur of verkoop een energieprestatiecertificaat hebben, ook wel energielabel genoemd. Dit label laat zien hoe energiezuinig een woning is. Dit wordt aangegeven met een letter, van A tot en met G, op basis van bouwjaar, type, bouwkundige kenmerken, etc. Daarbij is een woning met het A-label het zuinigst en een woning met een G-label het minst zuinig. In 2015 ontvingen alle huiseigenaren een voorlopig energielabel van de Rijksoverheid. Dit label moet de eigenaar bij verkoop of nieuwe verhuur definitief maken. Deze verplichting bestaat niet voor rijksmonumenten, provinciale en gemeentelijke monumenten[3]. Eigenaren kunnen een monument in de verkoop of verhuur doen zonder energielabel. Dat betekent dus ook dat eigenaren het tijdelijke energielabel dat zij ontvangen hebben, niet hoeven om te zetten naar een definitief label.

8.5 In contact komen met de gemeente

Naast het landelijke wettelijke kader heeft ook de gemeente een beleid. De gemeente behandelt de omgevingsvergunningen. Hiernaast kan de gemeente ook aanvullend beleid hebben op het gebied van verduurzaming. Dit kan bestaan uit het opleggen van beperkingen (bijvoorbeeld een zonnepanelenbeleid, waar mogen de panelen komen te liggen) of in de vorm van subsidies.
De meeste gemeenten hebben een medewerker in dienst die zich gedeeltelijk of geheel bezighoudt met cultureel erfgoed. Telefonisch, via de website of per e-mail kan contact worden opgenomen met deze persoon. Mocht een gemeente geen medewerker hebben op het gebied van cultureel erfgoed, dan kan er contact worden opgenomen met degene die zich bezighoudt met omgevingsvergunningen. Deze medewerker kan meer informatie geven over de (on)mogelijkheden met betrekking tot een monument.

[3] Artikel 2.2 van het Besluit energieprestatie gebouwen (http://wetten.overheid.nl/BWBR0023734/2016-07-01#Afdeling2_Artikel2.2)

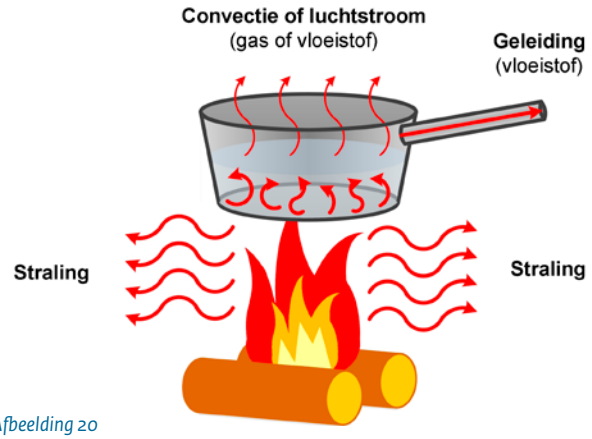
9. Begrippen

9.1 Warmtetransport

9.1.1 Geleiding, convectie en straling

Warmtetransport vindt plaats op drie manieren:

- Geleiding: de verplaatsing van energie doordat moleculen in een materiaal sneller gaan bewegen bij een hogere temperatuur en deze beweging doorgeven aan de nabije moleculen;
- Convectie: de verplaatsing van energie door middel van een medium, in gebouwen doorgaans lucht. We onderscheiden twee soorten:
  - Vrije convectie als gevolg van een verschil in dichtheid door een verschil in temperatuur;
  - Gedwongen convectie: als gevolg van een andere oorzaak, bijvoorbeeld wind;
- Straling: de uitzending energie in het elektromagnetisch spectrum als gevolg van de temperatuur van het object.



Afbeelding 20
Schematische voorstelling van de begrippen convectie, geleiding en straling (uit: Managing Indoor Climate Risks in Museums, 2017)

9.1.2 Warmtegeleidingscoëfficiënt

De warmtegeleidingscoëfficiënt (symbool: λ, eenheid: W/mK) geeft aan in welke mate een materiaal in staat is om warmte te geleiden. Hoe lager het getal, des te slechter het warmtetransport.

9.1.3 Warmteweerstand

Bij het warmtetransport speelt de dikte ook een rol. Hoe dikker het materiaal, hoe slechter het transport. De warmteweerstand (symbool: R, eenheid m^2W/K) combineert de dikte en de warmtegeleidingscoëfficiënt. Hoe hoger de weerstand, hoe slechter het transport. De warmteweerstand is te berekenen volgens:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Met:

R	: warmteweerstand van een laag	$[m^2W/K]$
d	: dikte van de isolatielaag	[m]
λ	: warmtegeleidingscoëfficiënt	[W/mK]

De warmteweerstand van een constructie is te bepalen door de warmteweerstanden van de verschillende lagen bij elkaar op te tellen:

$$R_c = R_1 + \ldots + R_n$$

Met:

R_c	: warmteweerstand van de constructie	$[m^2W/K]$
R_1	: warmteweerstand van de eerst laag	$[m^2W/K]$
R_n	: warmteweerstand van de laatste laag	$[m^2W/K]$

9.1.4 Warmtedoorgangscoëfficiënt

De warmtedoorgangscoëfficiënt (symbool: U, eenheid W/m^2K) is de hoeveelheid energie die per vierkante meter per graad temperatuurverschil wordt doorgegeven. Deze is als volgt te berekenen:

$$U = \frac{1}{0{,}04 + R_c + 0{,}13} \qquad W/m^2K]$$

Een lage waarde betekent laag energieverlies. Bij glasconstructies wordt de thermische prestatie van uitgedrukt in de 'U-waarde'.

9.1.5 Warmtestroomdichtheid

De hoeveelheid energie die door een constructie getransporteerd wordt, is afhankelijk van de warmteweerstand en het temperatuurverschil.

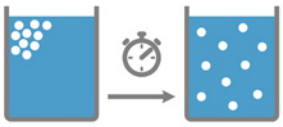
9.2 Vochttransport

Vocht is een algemene term voor zowel vloeibaar als gasvormig water. Dit laatste wordt ook waterdamp genoemd. Beide vormen van water verplaatsen zich verschillend in een materiaal. Ook de drijvende krachten achter de transportmechanismen zijn verschillend. In de onderstaande tabel (Tabel 8) zijn voor waterdamp en water de drijvende krachten achter de verschillende transportmechanismen opgesomd.

Om te begrijpen hoe vocht zich door een constructie verplaatst, is het belangrijk de drijvende krachten achter deze mechanismen te kennen. In deze tekst wordt voornamelijk ingaan op het transport van waterdamp. Dampdiffusie en convectief damptransport zijn dus belangrijk.

9.2.1 Dampdiffusie

Dampdiffusie vindt plaats door een verschil in partiële waterdampdruk. Dit is dat deel van de luchtdruk dat door waterdamp alleen wordt uitgeoefend. Waterdamp zal vervolgens verplaatsen van plaatsen met een hoge waterdampdruk naar plaatsen met een lage waterdampdruk.



Afbeelding 21
Schematische weergave van het natuurkundige verschijnsel dampdiffusie. Aan de linkerkant is schematisch een beker water (blauw) weergegeven waarin een kleine hoeveelheid van een anders vloeistof is gegeven (witte bolletjes). De concentratie van deze andere vloeistof is hoog in de linker bovenhoek. De rest van de beker heeft een lage concentratie. De natuurlijk heeft het liefst alles in evenwicht. Zo ook de concentratie van deze andere vloeistof. Zo zal na enige tijd wachten de concentratie van de andere vloeistof over de gehele beker gelijk worden. De drijvende kracht hiervoor is het verschil in concentratie van de verschillende stoffen.

9.2.2 Dampdiffusieweerstandgetal

Het dampdiffusieweerstandgetal (symbool: μ, eenheid: -) geeft aan in welke mate een materiaal in staat is om waterdamp via dampdiffusie te geleiden. Hoe lager het getal, des te beter het waterdamptransport. In productinformatie van isolatiematerialen is dit getal soms niet aanwezig

9.2.3 S_d-waarde of mu-waarde

In veel productinformatiebrochures wordt niet het dampdiffusieweerstandsgetal gegeven maar de zogenaamde S_d-waarde of mu-waarde. Deze waarde is niets anders dan het dampdiffusieweerstandsgetal vermenigvuldigd met de dikte in meters. Een voorbeeld: polyethyleenfolie, dikte: 0,1 ´ 10^{-3} m (0,1 mm) , dampdiffusieweerstandsgetal:100.000, S_d-waarde: 10 m. Voor meer gegevens over dampremmende lagen zie Tabel 5.

9.2.4 Waterabsorptiecoëfficiënt

De waterabsorptiecoëfficiënt (symbool: A, eenheid: kg/m²/$s^{1/2}$) geeft aan in welke mate een materiaal in staat is om water te absorberen. Hoe hoger het getal, des te meer water het kan absorberen.

9.2.5 Convectief damptransport

Als gevolg van het totale luchtdrukverschil over een gebouwonderdeel, kan lucht gaan van een hoge luchtdruk naar een lage luchtdruk. Bevinden zich in een gebouwonderdeel naden en kieren, en dat is bijna altijd het geval en zeker in oude historische gebouwen, dan zal lucht door de constructie bewegen. Lucht kan dus van binnen naar buiten en van buiten naar binnen stromen. Deze luchtstroom kan naast warmte ook vocht transporteren. De mate waarin is afhankelijk van het verschil in waterdampconcentratie en de hoeveelheid lucht die getransporteerd wordt. Via de lucht kan doorgaans veel meer waterdamp getransporteerd worden dan door middel van dampdiffusie. Dat is een belangrijke reden om constructies luchtdicht en holtevrij te ontwerpen.

Tabel 8

De drijvende krachten achter de verschillende transportmechanismen van waterdamp en water

Aggregatietoestand	Mechanisme	Drijvende kracht
Waterdamp	Diffusie	Verschil in partiële dampdruk
	Convectie	Verschil in totale luchtdruk
Water	Capillariteit	Verschil in capillaire zuiging
	Zwaartekracht	Massa
	Druk	Verschillen in de totale uitwendige druk

9.3 Ventilatie

9.3.1 Ventilatie

Ventilatie is de gecontroleerde uitwisseling tussen binnenlucht en buitenlucht. Dat kan op een natuurlijk wijze plaatsvinden door het opzetten van ramen en deuren. Of op een mechanische wijze door gebruik te maken van ventilatoren. We onderscheiden daarin mechanische afvoer met natuurlijk toevoer, mechanische toevoer met natuurlijk afvoer en mechanische toevoer en afvoer (balans-ventilatie). Uiteraard kan uit de afgevoerde lucht warmte worden teruggewonnen (WTW).

9.3.2 Infiltratie en exfiltratie

Infiltratie of exfiltratie is de ongecontroleerde uitwisseling tussen binnenlucht en buitenlucht. Bij infiltratie is de luchtuitwisseling overwegend naar binnen toe. Bij exfiltratie is dat overwegend naar buiten toe. Deze uitwisseling hoeft niet altijd ongewenst te zijn. Wel is de grootte vaak ongekend en dat maakt een gecontroleerde ventilatie door middel van een ventilatiesysteem lastig beheersbaar.

9.3.3 Ventilatievoud

Ventilatievoud (symbool: n, eenheid: h^{-1}) is het aantal keer per uur dat de lucht in een vertrek volledig wordt ververst door buiten-lucht. Deze verversing komt tot stand door een combinatie van ventilatie en infiltratie/exfiltratie.