

KaDEr Karakteristiek Duurzaam Erfgoed Gelderland

DEELPROJECT 2 Na-isoleren met binnenisolatie



deelproject 2

Na-isoleren met binnenisolatie

Versie definitief – 16 december 2020

Onderzoeksteam en auteurs



TU Delft
Faculteit der Bouwkunde
Afdeling Architectural Engineering + Technology
Julianalaan 134
2628 BL Delft

Dr.ir. Martin Tenpierik | Building Physics & Services
Dr.ir. Wido Quist | Heritage & Technology
Ronald Rijsterborgh MSc | Building Physics & Services

Opdrachtgever



Provincie Gelderland
Afdeling Cultuur en Erfgoed

Tom Pegels
Paul Thissen

Dit is een adviesrapport van de TU Delft aan de Provincie Gelderland opgesteld binnen het KaDEr project.

Dankwoord

Op deze plaats willen wij onze dank uitspreken richting alle mensen die het mogelijk hebben gemaakt dat wij de vijf onderzochte casus konden bezoeken, over deze projecten nadere informatie konden krijgen en ervaringen konden horen: Tom Pegels (Provincie Gelderland), Silvia Heyl (Stichting BOG), Silvester van Veldhoven (Veldhoven Architecten), Vincent Peppelenbosch (Dat Bolwerck), Eric Stokhuyzen (Kerkhof 34), Ad Lankhaar (Lankhaar Bouwmanagement), John Holtrust-Westerbeek (Landgoed Huis Sevenaer) en Henri Boerman (Boerman Kreek Architecten).

Samenvatting

Het *KaDEr Gelderland* project staat voor *Karakteristiek Duurzaam Erfgoed in Gelderland*. De Technische Universiteit Delft en de Provincie Gelderland werken samen om een impuls te geven aan de inbedding van duurzaamheid bij het in stand houden van gebouwd erfgoed, met respect voor de monumentale waarden, in beleid en praktijk met kennis en kunde. Dit wordt gedaan middels analyses van het verleden en monitoren van het heden om richting te geven aan de toekomst via vier Living Labs (XL/L/M/S), waarin projecten worden gevolgd in de praktijk, studenten worden ingezet op ontwerp vraagstukken en waarin meerdere specifieke deelprojecten worden uitgevoerd. Eén van deze deelprojecten betreft het voorliggende onderzoek *Na-isoleren met binnenisolatie*.

De toepassing van isolatie aan de binnenzijde van de gevel is niet zonder bouwfysische risico's. Bij onjuiste uitvoering of verkeerde materiaalkeuze liggen vochtproblemen op de loer met alle bijkomende aanvullende problematiek van vorstschade, schimmelgroei, houtrot en vochtplekken. Met name in de restauratiepraktijk is er veel onduidelijkheid over welke isolatiematerialen en materiaalpakketten nu wel en welke niet geschikt zijn. Tevens zijn er nieuwe ontwikkelingen op isolatiegebied waarvan nog onduidelijk is hoe deze zich in de praktijk houden. Monumenten zijn kwetsbaar waarbij het uitgangspunt is dat toevoegingen en aanpassingen niet de technische staat van het monument mogen aantasten (minimale interventie, compatibiliteit, herbehandelbaarheid en duurzaamheid).

Door middel van het onderzoeken van vijf casussen met diverse soorten binnenisolatie is gepoogd een antwoord te vinden op de volgende twee hoofdvragen:

- Op welke wijze kan bij (woonhuis)monumenten met massieve bakstenen gevels in Nederland aan de binnenkant van de gevel worden na-geïsoleerd zodanig dat het risico op vochtproblemen wordt beperkt?
- Welke afwegingen worden in de praktijk gemaakt bij na-isolatie van (woonhuis)monumenten met massieve bakstenen gevels in Nederland tussen verbetering thermische prestatie enerzijds en behoud monumentale waarde anderzijds?

De volgende vijf casussen zijn tijdens dit onderzoek onderzocht:

- De IJsselstroom, Zutphen
- Het Polderhuis, Landgoed Sevenaer, Zevenaar
- Oostelijk bouwhuis, kasteel Middachten, De Steeg
- Woning, Kerkhof 34, Zutphen
- Dat Bolwerck (incl. voormalig koetshuis), Zaadmarkt 110-112, Zutphen

Het onderzoek is uitgevoerd op basis van literatuurstudie en bestudering van de verbouwtekeningen, bezoek aan het gebouw met visuele inspectie en IR fotografie (alleen in november 2019), interviews met gebruikers/architecten/beheerders, en aanvullende maandelijkse Glaserberekeningen.

Bij het interpreteren van de resultaten is het van belang om daarbij de volgende beperkingen van deze studie in de gaten te houden:

- Vanwege de aard van dit onderzoek was het niet mogelijk om destructief onderzoek toe te passen, door bijvoorbeeld een deel van het isolatiemateriaal te verwijderen of door een gat te boren en met een camera het isolatiemateriaal en de achterliggende spouw te inspecteren. Dit betekent dat het onderzoeksteam niet de mogelijkheid had om achter het isolatiemateriaal te kijken.
- De maandelijkse Glaserberekeningen die in een aantal gevallen uitgevoerd zijn ter ondersteuning van het onderzoek geven een vereenvoudigde weergave van het hygro-thermische gedrag van de gevel.
- Bij enkele van de onderzochte projecten was de na-isolatie vrij recent pas aangebracht, bijv. bij het voormalige koetshuis als onderdeel van Dat Bolwerck. Dit betekent dat het voor die gevallen nog te vroeg is om eventuele vocht-technische gebreken te constateren.

Binnengevelisolatie bestaat in diverse varianten waarbij vaak een onderscheid wordt gemaakt tussen traditionele dampopen isolatie zonder damprem, dampdichte isolatie of traditionele dampopen isolatie met damprem, en dampopen capillair actieve isolatie (zonder damprem).

Traditionele dampopen isolatie zonder damprem

Vanuit de literatuur en vanuit zuiver bouwfysisch perspectief wordt dit type isolatie over het algemeen afgeraden. De achterliggende reden is dat door damptransport van binnen (vochtige omgeving) naar buiten (drogere omgeving) over het algemeen in de winter inwendige condensatie zal optreden op het grensvlak tussen het isolatiemateriaal en het metselwerk, ofwel op het punt waar de temperatuur in de constructie onder het dauwpunt komt. Of dit daadwerkelijk problematisch is, hangt af van de hoeveelheid condensaat die hier ontstaat en of dat condensaat in de zomer ook weer uit de gevel weg diffundeert. Eenvoudige Glaserberekeningen (hoofdstuk 8) laten zien dat een dunne laag dampopen isolatie van ongeveer 3 cm vocht-technisch acceptabel kan zijn indien er geen houten onderdelen in het metselwerk zijn opgelegd of direct tegen het metselwerk bevestigd zijn. Dergelijke berekeningen laten echter ook zien dat de precieze eigenschappen van het metselwerk grote invloed hebben op de hoeveelheid condensaat die in de winter ophoopt en daarmee op de acceptabele isolatiedikte. Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat Glaserberekeningen vereenvoudigde berekeningen zijn waarin niet al het materiaalgedrag meegenomen is en uitgegaan wordt van gemiddelde klimatologische omstandigheden.

Bij twee van de onderzochte casussen was een traditionele dampopen minerale wol isolatie zonder damprem aanwezig, het Polderhuis in Zevenaar en de woning aan het Kerkhof 34 in Zutphen. De gedachte om dampopen te isoleren was dat of een mechanisch ventilatiesysteem de lucht binnen voldoende drooghoudt en/of dat de vochtproductie binnen laag is. Tevens zouden stopcontacten en balkkoppen de dampremmende laag hebben doorbroken waardoor de keuze was gemaakt om deze dampremmende laag niet aan te brengen, mede omdat deze erg kwetsbaar is en gevoelig is voor uitvoeringsfouten. Voor zover bekend geworden tijdens het onderzoek zijn er momenteel geen vochtproblemen ten gevolge van het aanbrengen van het isolatiemateriaal bij beide onderzochte casussen.

Traditionele dampopen isolatie met damprem of dampdichte isolatie

Vanuit de literatuur en vanuit bouwfysisch oogpunt wordt deze oplossing vocht-technisch als een goede oplossing beschouwd. Door de dampremmende laag aan de warme zijde van de isolatie zal dampdiffusie worden tegengegaan waardoor inwendige condensatie met alle bijbehorende vochtproblemen wordt voorkomen. Echter, de dampremmende laag is kwetsbaar en gevoelig voor uitvoeringsfouten zoals het niet lucht- en dampdicht afsluiten van gaten die zijn gemaakt ten behoeve van stopcontacten en doorvoeren. Ook nabij houten balkkoppen opgelegd in de metselwerk gevel kan de aansluiting onvoldoende zijn en kan mogelijk vocht ophopen en niet verdwijnen. Tevens dienen bij dampdichte isolatie de naden tussen de isolatieplaten goed lucht- en dampdicht afgedicht te worden. Indien de dampremmende laag om welke reden dan ook doorbroken is en een lucht- en damplek vertoont, dan kan vochtige lucht achter de damprem komen en aldaar op een koude plaats condensereren. Door de aanwezigheid van de dampremmende laag kan dit vocht in de zomer ook weer lastiger naar binnen diffunderen en daardoor vochtproblemen geven.

Bij twee van de onderzochte casussen was een dampdichte vorm van na-isolatie aanwezig, De IJsselstroom in Zutphen (PIR isolatie) en het voormalige koetshuis als onderdeel van Dat Bolwerck in Zutphen (cellulose isolatie met damprem). Bij beide projecten waren stopcontacten aanwezig die de dampremmende laag doorbraken, en waren er houten balken opgelegd in het metselwerk. In hoeverre deze ook lucht- en dampdicht afgesloten waren, kon niet worden nagegaan. Bij De IJsselstroom in elk geval was PUR schuim gebruikt rondom de stopcontacten om deze af te dichten. Voor zover bekend geworden tijdens het onderzoek zijn er momenteel geen vochtproblemen ten gevolge van het aanbrengen van het isolatiemateriaal.

Dampopen capillair actieve isolatie (zonder damprem)

Vanuit de literatuur en vanuit bouwfysisch oogpunt wordt dampopen capillair actieve isolatie gezien als een goede oplossing. Bij gebruik van dit materiaal bestaat er wel een risico op inwendige condensatie in de winter, vergelijkbaar aan de traditionele dampopen isolatie, maar door het capillaire gedrag van het materiaal kan het vocht zich herverdelen over het isolatiemateriaal waardoor het risico op vochtproblemen wordt verkleind. Tevens is het materiaal dampopen waardoor het vochtgedrag van het oorspronkelijke metselwerk slechts in beperkte mate wordt veranderd. Omdat dit relatief nieuwe materiaaltoepassingen zijn, is er nog weinig bekend over hoe op deze wijze na-geïsoleerd historisch metselwerk zich hygro-thermisch op lange termijn zal gedragen. Tevens zit er veel verschil in de mate van capillair gedrag tussen de diverse capillair actieve materialen, en niet alle materialen zullen in de praktijk even geschikt blijken te zijn. Meer lange termijn onderzoek is nodig om hier een goed beeld bij te krijgen. Verder is het van belang dat het materiaal direct tegen het metselwerk wordt aangebracht waardoor luchtsponwen tussen metselwerk en isolatiemateriaal worden voorkomen.

Bij twee van de onderzochte casussen was dampopen capillair actief isolatiemateriaal (houtvezelplaat) toegepast, Het oostelijk bouwhuis bij kasteel Middachten en Dat Bolwerck in Zutphen. Op basis van een eenvoudige maandelijkse Glaserberekening zijn bij beide projecten vocht-technisch geen problemen te verwachten ten gevolge van het aangebrachte isolatiemateriaal; het capillaire gedrag van het isolatiemateriaal kan overigens niet meegenomen worden in een dergelijke vereenvoudigde berekening. Beide projecten worden ook jaarlijks geïnspecteerd door MonumentenWacht Gelderland die tot nu toe geen gebreken heeft geconstateerd. Ook door het onderzoeksteam zijn geen gebreken geconstateerd ten gevolge van het aanbrengen van het isolatiemateriaal.

De vijf onderzochte casussen hadden een variatie aan typen binnenisolatie. Bij geen van de onderzochte objecten zijn vocht-technische gebreken geconstateerd die gerelateerd zijn aan het aanbrengen van na-isolatie aan de binnenzijde. Op basis van de theorie had het onderzoeksteam voorafgaande aan dit onderzoek wel mogelijke problemen verwacht bij de dampopen isolatiematerialen zonder damprem en bij doorbrekingen van de dampremmende laag (stopcontacten en dergelijke) in geval van isolatiematerialen met damprem. Een belangrijke opmerking hierbij is wel dat het onderzoeksteam niet achter het isolatiemateriaal heeft kunnen kijken en de houten balkkoppen in het metselwerk niet van dichtbij heeft kunnen bestuderen of kunnen bemeten. Verder waren sommige isolatiemaatregelen pas recent aangebracht waardoor het nog te vroeg is om eventuele gebreken te kunnen constateren. Het is daarom aan te bevelen om over vijf jaar dit onderzoek nogmaals te herhalen en dan tevens achter het isolatiemateriaal te kijken. Naast de in dit onderzoek onderzochte gebouwen kunnen dan eventueel ook andere historische gebouwen meegenomen worden.

Omdat er nog veel onduidelijkheid heerst over welke isolatie-oplossingen en welke aanpak voor de verduurzaming van monumenten het beste is, is het van belang om monumenten waarbij na-isolatie is toegepast te blijven volgen en te blijven monitoren, bij voorkeur in het geval van belangrijke monumenten ook via monitoring van temperaturen en vochtgehaltes tussen het isolatiemateriaal en het metselwerk en in en nabij balkkoppen. Hierdoor zal op de langere termijn meer kennis worden opgebouwd en een beter beeld ontstaan over welke oplossingen wel en niet geschikt zijn voor historische gebouwen.

Inhoudsopgave

1.	Introductie en onderzoeksopzet	11
1.1	Achtergrond	11
1.2	Probleemstelling	11
1.3	Doelstelling	12
1.4	Onderzoeksvragen	12
1.5	Onderzoeksobjecten	12
1.6	Doelgroep	12
1.7	Onderzoeksmethode	12
2.	Na-isolatie binnenzijde gevel en verbeteren vensters	15
2.1	Na-isolatie aan de binnenzijde van de gevel	15
2.2	Thermisch verbeteren van glas, ramen en kozijnen	18
3.	Casus 1: De IJsselstroom, Zutphen	21
3.1	Korte beschrijving	21
3.2	Transformatie tot energieneutraliteit	21
3.3	Na-isolatie gevel	23
3.4	Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde	25
3.5	Geconstateerde gebreken	25
3.6	Conclusie	26
4	Casus 2: Polderhuis, Landgoed Sevenaer, Zevenaer	29
4.1	Korte beschrijving	29
4.2	Transformatie tot energieneutraliteit	29
4.3	Na-isolatie gevel	31
4.4	Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde	33
4.5	Geconstateerde gebreken	34
4.6	Conclusie	35
5	Casus 3: Oostelijk bouwhuis, kasteel Middachten, De Steeg	37
5.1	Korte beschrijving	37
5.2	Transformatie tot energieneutraliteit	38
5.3	Na-isolatie gevel	38
5.4	Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde	38
5.5	Geconstateerde gebreken	39
5.6	Conclusie	41
6	Casus 4: Woning, Kerkhof 34, Zutphen	43
6.1	Korte beschrijving	43
6.2	Transformatie tot energieneutraliteit	43
6.3	Na-isolatie gevel	45
6.4	Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde	46
6.5	Geconstateerde gebreken	46
6.6	Conclusie	47
7	Casus 5: Dat Bolwerck, Zaadmarkt 110-112, Zutphen	49
7.1	Korte beschrijving	49
7.2	Transformatie tot energieneutraliteit	49
7.3	Na-isolatie gevel	52
7.4	Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde	55
7.5	Geconstateerde gebreken	55
7.6	Conclusie	55
8	Bevindingen en beperkingen van deze studie	59
8.1	Bevindingen	59
8.2	Beperkingen van deze studie	63
9	Conclusies	65
10	Bronnen	67



AN·DNI·SZ·S·DIT·M·S·GEB·O·V



H·E·M·A·N·T·G·E·T·M·I·V·E·R·T·M·A·E·R·D·I·E·T

1. Introductie en onderzoeksopzet

1.1 Achtergrond

Het *KaDEr Gelderland* project staat voor *Karakteristiek Duurzaam Erfgoed in Gelderland*. De Technische Universiteit Delft en de Provincie Gelderland werken samen om een impuls te geven aan de inbedding van duurzaamheid bij het in stand houden van gebouwd erfgoed, met respect voor de monumentale waarden, in beleid en praktijk met kennis en kunde. Dit wordt gedaan middels analyses van het verleden en monitoren van het heden om richting te geven aan de toekomst via vier Living Labs (XL/L/M/S), waarin projecten worden gevolgd in de praktijk, studenten worden ingezet op ontwerpvragestukken en diverse specifieke deelprojecten worden uitgevoerd uitvoeren. Eén van deze deelprojecten betreft het voorliggende onderzoek *Na-isoleren met binnenisolatie*.

1.2 Probleemstelling

Klimaatverandering, eindigheid van fossiele brandstoffen, geopolitieke spanningen, de wens om 'van het gas af te gaan' en internationale verdragen zijn de drijvers achter de energietransitie die Nederland momenteel doormaakt. Voor nieuwe gebouwen zijn de energetische eisen sinds de oliecrises steeds strenger geworden. Per 1 januari 2021 dient alle nieuwbouw te voldoen aan de zogenaamde BENG-eisen (Bijna EnergieNeutrale Gebouwen). De verwachting is dat ook deze eisen in de loop der jaren verder zullen worden aangescherpt richting energie-0 of zelfs energieleverend. Vanwege voornoemde zaken voelen ook eigenaren van monumenten de wens en maatschappelijke druk om hun monumenten te verduurzamen, ondanks dat er geen wettelijke eisen daarvoor zijn. Wel zijn er reeds nationale ambities geformuleerd voor verduurzaming van monumenten (zie routekaart verduurzaming monumenten).

Een belangrijke component bij het energetisch verduurzamen van gebouwen is het verminderen van de energiebehoefte voor verwarming en koeling. Een belangrijke voorwaarde om deze energiebehoefte te verlagen is een goede thermische kwaliteit van de gebouwschil (gevels, dak, beganegrondvloer, etc). Thermische isolatie speelt daarbij een belangrijke rol. Voor nieuwbouw levert het toevoegen van thermische isolatie aan de gevel in het ontwerp meestal weinig bouwfysische problemen op. Immers, men kan de isolatielaag op een bouwfysisch gunstige plek aanbrengen. Bij bestaande gebouwen, echter, is dit lastiger.

Bestaande gebouwen met bakstenen gevels waarvan de gewenste hoeveelheid isolatie tekortschiet kunnen in beginsel op drie manieren worden na-geïsoleerd: via isolatie aan de buitenzijde, via isolatie in een aanwezige spouw, of via isolatie aan de binnenzijde. Isolatie aan de buitenzijde is over het algemeen de bouwfysisch meest gunstige: eventuele koudebruggen kunnen worden 'ingepakt', de constructie komt aan de warme zijde van de gevel te liggen, en er is weinig risico op vochtproblemen. Echter, veel gebouwen en met name monumenten verdragen geen isolatie aan de buitenzijde omdat dat te sterk de monumentale waarde aantast. Isolatie in een spouw zou in principe bouwfysisch een prima oplossing kunnen zijn, met de kanttekening dat de spouwdiepte vaak beperkt is en daarmee maatgevend is voor de maximaal haalbare thermische verbetering. Tevens bepaalt de kwaliteit van de spouw of spouwmuurvulling wel of niet mogelijk is. Echter, veel oudere gebouwen en veel oudere monumenten hebben geen spouwmuur. In dat geval blijft alleen de optie van binnengevelisolatie over.

De toepassing van isolatie aan de binnenzijde van de gevel is echter niet zonder bouwfysische risico's. Bij onjuiste uitvoering of verkeerde materiaalkeuze liggen vochtproblemen op de loer met alle bijkomende aanvullende problematiek van vorstschade, schimmelgroei, houtrot en vochtplekken. Met name in de restauratiepraktijk is er veel onduidelijkheid over welke isolatiematerialen en materiaalpakketten nu wel en welke niet geschikt zijn. Tevens zijn er nieuwe ontwikkelingen op isolatiegebied waarvan nog onduidelijk is hoe deze zich in de praktijk houden. Monumenten zijn kwetsbaar waarbij het uitgangspunt is dat toevoegingen en aanpassingen niet de technische staat van het monument mogen aantasten (minimale interventie, compatibiliteit, herbehandelbaarheid en duurzaamheid).

1.3 Doelstelling

Doelstelling van dit onderzoek betreft daarom het aan de hand van een serie casussen onderzoeken welke methoden voor het aanbrengen van binnengevelisolatie vanuit bouwfysisch perspectief op een veilige manier toegepast kunnen worden bij monumenten met massief bakstenen gevels in Nederland. Verder is het van belang om te onderzoeken welke afwegingen er in de praktijk worden gemaakt tussen enerzijds energetische verbetering van de gevel en anderzijds monumentale waarde hiervan. Voorts is het van belang om deze kennis te delen met betrokken partijen in het werkveld.

1.4 Onderzoeksvragen

Dit onderzoeksproject is opgezet om de volgende twee hoofdvragen te beantwoorden:

- Op welke wijze kan bij (woonhuis)monumenten met massieve bakstenen gevels in Nederland aan de binnenkant van de gevel worden na-geïsoleerd zodanig dat het risico op vochtproblemen wordt beperkt?
- Welke afwegingen worden in de praktijk gemaakt bij na-isolatie van (woonhuis)monumenten met massieve bakstenen gevels in Nederland tussen verbetering thermische prestatie enerzijds en behoud monumentale waarde anderzijds?

1.5 Onderzoeksubjecten

Omdat dit onderzoek plaatsvindt in het kader van het KaDEr onderzoeksprogramma in opdracht van de provincie Gelderland, bevinden de te onderzoeken objecten zich in de provincie Gelderland. De diverse casussen die onderzocht worden zijn aangedragen vanuit partners betrokken bij het KaDEr project of met wie contact is geweest in verband met eerdere onderzoeksonderdelen. Voorwaarden hierbij waren dat deze gebouwen oorspronkelijk massief bakstenen gevels hadden, recent (tussen 2 en 10 jaar geleden) energetisch verbeterd zijn en voorzien zijn van isolatie aan de binnenkant van de gevel. Verder is geprobeerd om enige variatie te krijgen tussen standaard isolatiematerialen en nieuwere of alternatieve isolatiematerialen. Op basis van deze uitgangspunten zijn de volgende vijf casussen geselecteerd:

- De IJsselstroom, Zutphen
- Het Polderhuis, Landgoed Sevenaer, Zevenaar
- Oostelijk bouwhuis, kasteel Middachten, De Steeg
- Woning, Kerkhof 34, Zutphen
- Dat Bolwerck (incl. voormalig koetshuis), Zaadmarkt 110-112, Zutphen

1.6 Doelgroep van dit rapport

De doelgroep van dit rapport zijn specialisten op het gebied van energetische transformatie van historische gebouwen bij overheden, aannemingsbedrijven en adviesbureaus en geïnteresseerden met enige kennis van bouwfysica en warmte- en vochtproblemen in gebouwen.

1.7 Onderzoeksmethode

Dit onderzoek bestaat uit vijf hoofdstappen.

STAP 1: Literatuuronderzoek

- Bestuderen van literatuur over de oorspronkelijke situatie voor renovatie: Gevelopbouw, kozijnen, ramen, glas, kieren, ventilatie, verwarming, kwaliteit gevel, type vloeren, type dak, type binnenwanden, aansluiting binnenwanden op gevel
- Bestuderen van literatuur en bouwtekeningen over de situatie na renovatie: Gevelopbouw, isolatie, damprem, kozijnen, ramen, glas, kieren, ventilatie, verwarming, kwaliteit gevel, type vloeren, aansluiting balken op gevel, type dak, type binnenwanden, aansluiting binnenwanden op gevel
- Analyse van eventuele bijzondere lokale klimaatomstandigheden: regen en wind op gevels

STAP 2: Inspectie van de woning ter plekke en interviews met bewoners/betrokkenen:

- Infrarood opnames (alleen in november 2019; niet in augustus 2020)
- Visuele inspectie gevel buitenkant (vocht- en vorstschade, regen, wind)
- Visuele inspectie gevel binnenkant inclusief aansluitingen vloeren en binnenwanden (detail, inschatting koudebruggen, inwendige condensatie, oppervlaktecondensatie, optrekkend vocht, vocht bij aansluitingen, doorbreking damprem door stopcontacten, schroeven, nagels, etc.)
- Visuele inspectie kozijnen, ramen en glas: typen, onderhoud, kieren, vocht, kromtrekken, etc.
- Maken overzicht gebouwinstallaties: ventilatie, verwarming
- Overzicht van welke onderdelen van historische waarde behouden zijn tijdens de renovatie
- Interview met bewoner/gebruiker aangaande mogelijke bouwfysische gebreken, comfort (o.a. temperatuur en tocht), het ontwerp- en bouwproces en omgang met behoud historische waarden (afwegingen)

STAP 3: Kwalitatieve analyse

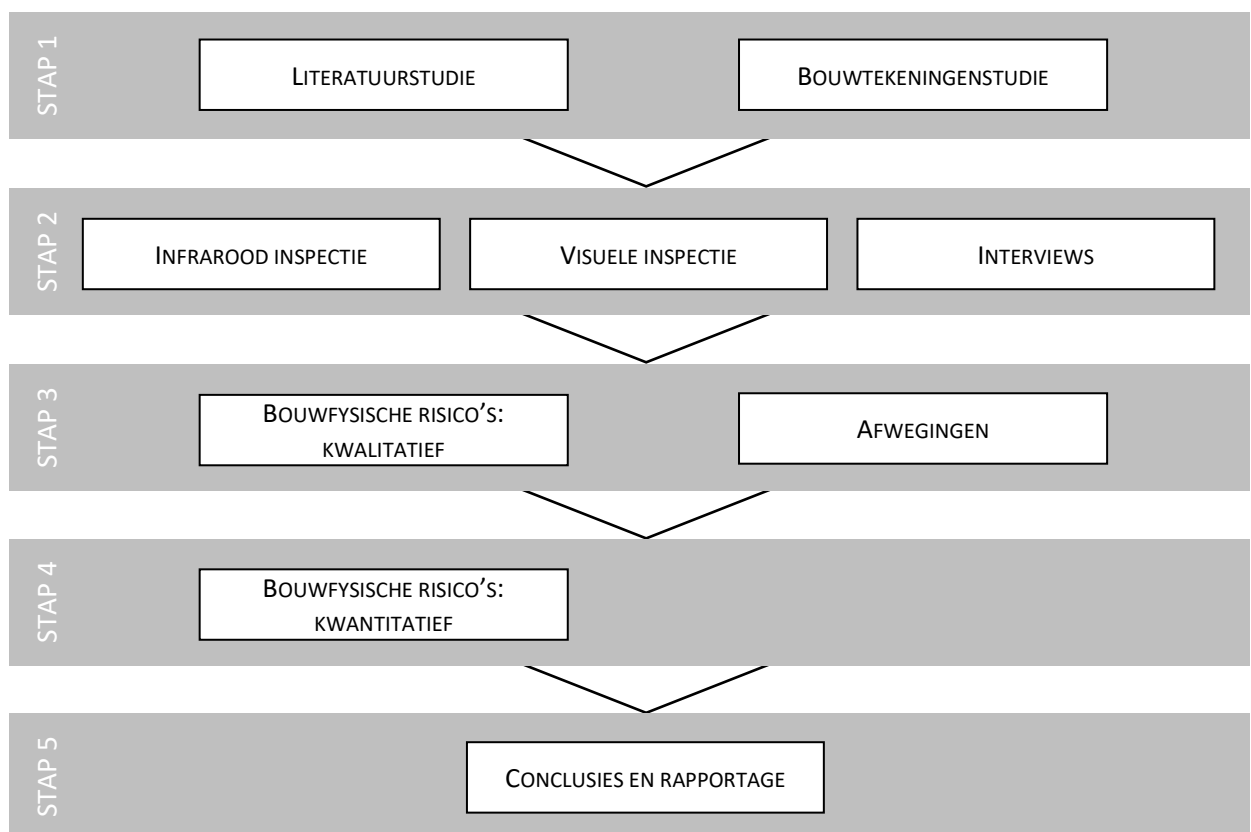
- Analyseren van alle gegevens om bouwfysische risico's in kaart te brengen: koudebruggen, regen, inwendige condensatie, optrekkend vocht, oppervlaktecondensatie, vorstschade
- Analyseren van alle gegevens om in kaart te brengen hoe afwegingen gemaakt zijn omtrent verduurzaming in relatie tot behoud historische waarden

STAP 4: Kwantitatieve analyse

- Berekenen van het hygro-thermische gedrag van een m² pakket van de gevel (of het dak) ter bevestiging of ontkrachting bovenstaande risico-inschatting (maandelijkse Glaserberekening)

STAP 5: Conclusies en rapportage

- Het verwerken van alle bovenstaande gegenereerde gegevens in een overzichtelijke rapportage



Figuur 1.1 – Grafische weergave van de onderzoeksopzet.



2. Na-isolatie binnenzijde gevel en verbeteren vensters

2.1 Na-isolatie aan de binnenzijde van de gevel

Bestaande gebouwen met metselwerk gevels waarvan de gewenste hoeveelheid isolatie tekortschiet kunnen in beginsel op drie manieren worden na-geïsoleerd: via isolatie aan de buitenzijde, via isolatie in een aanwezige spouw, of via isolatie aan de binnenzijde. Wat betreft binnengevelisolatie bestaan er diverse mogelijkheden. Een recente publicatie van de Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed over na-isolatie van historische gebouwen geeft een goed overzicht hiervan [RCE, 2019]. De geschikt geachte mogelijkheden van na-isolatie aan de binnenzijde kunnen onderverdeeld worden in twee hoofdcategorieën:

- 1.) Dampdichte isolatiematerialen of traditionele dampopen materialen met dampremmende laag aan de warme zijde van de isolatie.
- 2.) Capillair actieve dampopen isolatiematerialen

De eerste categorie materialen omvat bijvoorbeeld allerlei kunststofschuimen (EPS, XPS, PIR, PUR, etc.), wollen (minerale wol, schapenwol) en andere materialen zoals cellulose, vacuümislatiepanelen en aerogels. Bij de dampopen materialen is goede aandacht vereist voor de uitvoeringskwaliteit van met name de dampremmende laag, waarover later meer. Bij de dampdichte materialen is goede aandacht vereist voor het zorgdragen van een dampdichte aansluiting tussen de isolatieplaten onderling.

De tweede categorie materialen, zoals calciumsilicaat en houtvezelplaat, zijn dampopen en capillair actief en zijn daardoor in staat om relatief veel vocht te absorberen en te herverdelen op het moment dat het aanbod aan vocht hoog is [Stappers en Schellen, 2011]. Dit voorkomt vochtophoping op de lange termijn. Het is hierbij van belang dat er geen dampremmende laag aangebracht wordt en dat ook de afwerkingslagen dampopen (en capillair actief) zijn. Voorts moet het materiaal direct tegen het metselwerk aangebracht worden zonder luchtholtes. Niet alle materialen die als capillair actief te boek staan zijn ook daadwerkelijk capillair actief te noemen [Vereecken en Roels, 2016]. Het is daarom zaak om goed te letten op de eigenschappen van deze materialen zoals watergeleidbaarheid, capillair absorptievermogen en dampdiffusieweerstands-getal. Voorts is het van belang om te bedenken dat de warmtegeleidingscoëfficiënt van deze materialen hoger is dan van traditionele isolatiematerialen met als gevolg dat dikkere lagen vereist zijn om eenzelfde thermische prestatie te verkrijgen [Vereecken en Roels, 2016].

Dampopen isolatiematerialen aan de binnenzijde van de gevel zonder dampremmende laag komen in de praktijk ook regelmatig voor¹. De gedachte erachter is dat deze minder problemen opleveren omdat in de praktijk de dampremmende laag vaak niet goed wordt aangebracht of wordt doorbroken door stopcontacten, schroeven, nagels en balklagen. Bovendien is de gedachte dat door dampopenheid het vochtgedrag van het metselwerk minder verandert en eventuele vochtophoping tussen metselwerk en isolatie makkelijker naar binnen kan diffunderen. Het nadeel van traditionele dampopen isolatiematerialen is echter het hoge risico op inwendige condensatie en daaruit voorkomende mogelijke vochtproblemen. Of dit daadwerkelijk een probleem is hangt af van de hoeveelheid ontstane condensaat in de winter en de hoeveelheid verdamping in de rest van het jaar. Vaak wordt in de praktijk geadviseerd dat bij dunne isolatielagen dampopen acceptabel is.

Bij de na-isolatie van monumenten hanteert de Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed twee basisvoorwaarden: “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

¹ Naast de hier bedoelde dampopen isolatiematerialen in de vorm van platen bestaan er ook isolerende minerale stuc- of pleisterlagen die aan de binnenkant kunnen worden toegepast. Deze hebben een warmtegeleidingscoëfficiënt rond 0.05 a 0.08 W/(m·K) of 0.02 a 0.03 W/(m·K) indien er aerogel door het materiaal gemengd is. Deze lagen zijn relatief dampopen met een dampdiffusieweerstandsgetal rond 3 a 5 en gedragen zich daardoor ook vergelijkbaar aan de dampopen isolatieplaten.

monumentale gebouw ontstaan. Wordt aan deze twee voorwaarden voldaan, dan ziet de RCE een na-isolatieoplossing in veel gevallen als acceptabel.” [RCE, 2019, pag. 8].

Na-isolatie aan de binnenzijde van gevels van gebouwen en in het bijzonder van monumenten is niet zonder risico.

Allereerst wordt door de isolatielaag aan de binnenkant de temperatuurfluctuatie over de seizoenen in de bakstenen gevel groter; in de winter wordt het metselwerk kouder terwijl dit in de zomer warmer wordt [Nusselder et al., 2008; Stappers en Schellen, 2011; Hees en Lubelli, 2012]. Het gevolg hiervan is een grotere uitzetting en krimp, met als gevolg een verhoogd risico op scheurvorming.

Verder zal door het aanbrengen van isolatie aan de binnenzijde van de gevel de mogelijkheid om vocht in het metselwerk aan de binnenzijde te laten verdampen afnemen [Stappers en Schellen, 2011; Groot en Gunneweg, 2012]. Tevens zal in de winter door het kouder zijn van het metselwerk ook verdamping van vocht aan de buitenzijde van de gevel vertraagd worden [Stappers en Schellen, 2011]. Dit betekent dat het vochtgehalte in het metselwerk gemiddeld hoger zal liggen dan voor de situatie met na-isolatie. Dit zal het risico op vorstschade verhogen indien de bakstenen of mortel vorstgevoelig zijn of een dampdichte laag (geglazuurde stenen of dampremmende verf/pleister) bevatten [Hens, 2012; Hees en Lubelli, 2012].

Daarnaast verandert door na-isolatie de vochtbalans en wordt het dauwpunt in de gevel verlegd [Stappers en Schellen, 2011]. Dit betekent allereerst dat indien geen goede damprem wordt aangebracht aan de warme zijde van de isolatielaag onherroepelijk inwendige condensatie optreedt op het grensvlak tussen isolatie en bestaand metselwerk. Bij vochtgevoelige isolatiematerialen vermindert dit de isolerende werking en verhoogt dit het risico op schimmelvorming². Of deze inwendige condensatie daadwerkelijk problemen zal geven, hangt tevens af van of het opgebouwde condensaat in de winter in de zomer weer volledig kan verdampen.

Tot slot zullen er bij monumenten altijd plekken zijn waar de isolatielaag niet volledig door kan lopen; gemetselde binnenwanden die direct op de gevel aansluiten of houten balken die opgelegd zijn in de buitengevel doorbreken de isolatielaag en vormen daarmee een koudebrug [Nusselder, 2008]. Deze koudebruggen vormen risicovolle plekken voor condensatie omdat de oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde ten gevolge van de koudebrug lager is dan van de omringende isolatielaag. Vooral bij houten balkkoppen kan dit een verhoogd risico op houtrot geven.

In de literatuur wordt daarom geadviseerd om buitengevels van monumenten niet aan de binnenzijde na te isoleren in de volgende gevallen [Nusselder, 2008; Stappers en Schellen, 2011; Hees en Lubelli, 2012; Groot en Gunneweg, 2012]:

- Indien de binnenzijde van de buitengevel monumentale waarde heeft; in dat geval kan monumentale waarde prevaleren boven energiebesparing.
- Indien de gevel bloot staat aan overmatig veel regen; in dat geval zal het vochtgehalte in het metselwerk te lang te hoog blijven waardoor er een verhoogd risico ontstaat op vorstschade en rottende balkkoppen.
- Indien de gevel bestaat uit bakstenen die vorstgevoelig zijn of een dampdichte buitenlaag hebben (bijvoorbeeld geglazuurde stenen); in dat geval treedt er ook een verhoogd risico op vorstschade op.
- Indien de gevel veel scheurvorming vertoont ten gevolge van uitzetting en krimp; in dat geval is de gevel al lek en bevat deze veel vocht. Tevens vergroot na-isolatie de thermische bewegingen met een verhoogd risico op verdere scheurvorming.
- In het geval er sprake is van optrekkend vocht in de gevel; in dat geval komt het vocht meestal vanuit de bodem via capillaire werking in het metselwerk omhoog; door een isolatie met een dampremmende laag kan dit vocht moeilijk verdampen waardoor een verhoogd risico op vorstschade ontstaat.

² In enkele artikelen wordt als alternatief gewezen op de mogelijkheden van dampopen isolatiematerialen en dampopen bouwen [Jenkins, 2011]. Echter de ervaring leert dat ook in die gevallen een groot risico op condensatieproblemen ontstaat [Ravesloot, 2015]. Indien echter alle condensaat in de zomer weer uit de constructie verdampt hoeft dit niet per se tot schade te leiden. Maar een goede risicoanalyse op basis van tijdsafhankelijke vochtsimulaties is in dat geval noodzakelijk.

In alle andere gevallen is het in principe mogelijk om na-isolatie aan de binnenzijde van de buitengevels toe te passen. Daarbij moet met de volgende zaken rekening gehouden worden:

Bij dampopen materialen, dient er altijd een goede dampremmende laag aangebracht te worden aan de warme zijde van de isolatie om te voorkomen dat er inwendige condensatie ontstaat ten gevolge van dampdiffusie [Linden et al., 2016; Wit, 2008]. Deze laag zorgt ervoor dat in de winter, wanneer het risico op condensatie het hoogst is, de dampspanning in alle materiaal aan de buitenzijde van de damprem laag is. Hierbij is het wel van belang dat de waterkerende laag aan de buitenzijde van de gevel altijd een lagere S_d -waarde³ heeft dan de damprem. Bij capillair actieve dampopen isolatiematerialen is een dergelijke dampremmende laag normaal niet vereist.

Een dampremmende laag dient volledig luchtdicht te worden aangebracht om convectief damptransport te voorkomen [Stappers en Schellen, 2011]. Daarbij moeten naden en kieren bij doorvoeren, stopcontacten en koudebruggen worden voorkomen. Deze dienen goed luchtdicht afgedicht te worden. Deze afdichting voorkomt dat vocht via luchttransport terecht komt achter de damprem en isolatie waardoor deze alsnog voor condensatieproblemen, schimmelvorming en mogelijk rottende houten balkkoppen kan zorgen, vooral indien er achter de isolatielaag door een onregelmatig oppervlak luchtholtes aanwezig zijn.

Aansluitingen van gemetselde binnenwanden op spouwloze buitengevels zullen bij na-isolatie een koudebrug vormen. Om te voorkomen dat door een lage binnenoppervlaktetemperatuur nabij de aansluiting oppervlaktecondensatie ontstaat, dient de binnenisolatie ten minste 1 meter doorgezet te worden naar binnen langs de binnenwand hetgeen esthetische consequenties heeft.

Ook houten balken opgelegd in (bak)stenen gevels vormen een risico. Het is vaak verstandig om rondom de balkkop niet te isoleren om hier bewust een koudebrug te introduceren waardoor de temperatuur nabij de balkkop hoger is; maar wel de dampremming en luchtdichting te verzorgen. Soms kunnen vocht opnemende (zoals kurk) of capillair actieve isolatiematerialen uitkomst bieden [Binz et al., 2005]. Ook dient er aandacht te zijn voor houten strijk balken die direct tegen de gevel liggen. Deze kunnen door na-isolatie in de koude zone van de gevel komen te liggen met een verhoogd risico op houtrot. In dat geval kan zelfs indien de wateractiviteit of relatieve luchtvochtigheid nabij het grote oppervlak van de gevel aan de binnenkant bijna altijd lager is dan 0.8 toch schimmelvorming nabij de koudebruggen optreden [Stappers en Schellen, 2011]. Indien mogelijk dan kunnen deze balken het beste iets opgeschoven worden om de isolatielaag door te zetten.

Isoleren aan de binnenzijde dient bij voorkeur in combinatie te zijn met herstel van de gevel (voegen, en dergelijke) en in sommige gevallen met hydrofoberen. Dit voorkomt dat het metselwerk ten gevolge van regen langdurig vochtig blijft. Er bestaan tegenwoordig diverse middelen die gebruikt kunnen worden met als nieuwe ontwikkeling middelen voorzien van nano-deeltjes [Lubelli et al., 2012]. Hydrofoberen dient te allen tijde damptransport aan de buitenzijde mogelijk te houden. Het nadeel van hydrofoberen is dat een gevel langzamer droogt indien deze toch nat geworden is omdat capillair watertransport wordt verhinderd. In het verleden zijn er mede daardoor ook slechte ervaringen geweest met het hydrofoberen van historische metselwerk gevels. In de literatuur wordt daarom geadviseerd om niet te hydrofoberen indien er sprake is van optrekkend vocht, indien er andere vochtbronnen zijn dan alleen regen, indien er veel (hygroscopische) zouten in het metselwerk aanwezig zijn en indien er haarscheuren aanwezig zijn, bijvoorbeeld op de grens tussen metselwerk en voeg. In die gevallen kunnen problemen optreden als vorstschade en zoutschade [Lubelli et al., 2012]. Gedetailleerd onderzoek van de gevel is daarom vereist voordat tot hydrofoberen wordt overgegaan.

Bij herstel van de gevel en na-isolatie wordt vaak ook de kierdichting verbeterd. Om dan voldoende verse lucht binnen te krijgen en om de constructie voldoende gelegenheid te bieden om vocht kwijt te kunnen is het van belang dat er voor voldoende ventilatie wordt gezorgd in het gebouw. Hiermee dient rekening gehouden te worden bij de dimensionering van het ventilatiesysteem.

Capillair actieve dampopen isolatiematerialen behoeven over het algemeen geen damprem. Echter, ze zijn ook relatief dampopen waardoor in de winter condensatie tussen het isolatiemateriaal en de bestaande gevel kan ontstaan. Zolang deze hoeveelheid condensaat echter beperkt is, opgenomen kan

³ De S_d waarde geeft de mate van dampdichtheid van een materiaal laag aan en wordt berekend als het dampdiffusieweerstandgetal (μ waarde) maal de dikte.

worden door het materiaal en in de zomer weer kan verdampen hoeft dit niet direct tot schade en schimmelvorming te leiden⁴. Los hiervan dient ook de binnenzijde van de gevel vrij te blijven van meubels en kasten omdat anders in de zomer het vocht niet weg kan. Een uitvoerige dynamische thermisch-hygrische simulatie zal in zo'n geval moeten aantonen of een dergelijke dampopen constructie wel of niet kan.

2.2 Thermisch verbeteren van glas, ramen en kozijnen

Bij monumenten zijn vaak ook het glas en de kozijnen thermisch zwakke plekken in de schil [Nusselder, 2008; Hermans, 2011; Wood, 2011]. In de loop der jaren zijn houten kozijnen mogelijk aangetast door houtrot, kromming en kan de sluiting en kierdichting zijn verslechterd. Zonder verdere grote aanpassingen kan vaak al een goede thermische verbetering worden bereikt door herstel en reparatie van kozijnen en ramen. Hiermee wordt de kierdichting significant verbeterd en worden de infiltratieverliezen verkleind [Wieringen, 2011; Hermans, 2011; Wood, 2011; Fritz-von Preuschen, 2017]. Uit onderzoek in Schotland blijkt dat herstel en reparatie van kozijnen en ramen al leidt tot een verlaging van de infiltratieverliezen met ongeveer 34% en dat het daarnaast toevoegen van een kierdichtingsprofiel de infiltratieverliezen met bijna 90% verlaagd [Wood et al., 2009]⁵. Dit is een maatregel die eigenlijk altijd dient te worden uitgevoerd bij restauratieprojecten omdat dit naast energiebesparing de levensduur van de kozijnen en ramen verlengt.

Bij sommige monumenten kan ook gedacht worden aan het herstel en het terugbrengen van buitenluiken. Luiken dicht geeft een verlaging van het energieverlies door transmissie via het glas van 61 à 64% [Wood, 2011]. Het is daarbij dan wel van belang dat deze luiken ook daadwerkelijk zullen worden gebruikt op de juiste manier: winter overdag open; 's nachts dicht; zomer overdag dicht; 's nachts open. Een goed alternatief voor buitenluiken zijn binnenluiken of rolgordijnen aan de binnenkant van het glas met eventueel een reflecterende folie gericht naar buiten. Dergelijke rolgordijnen kunnen het transmissieverlies door het glas tot 66% verlagen waardoor de U-waarde van deze combinatie in de buurt komt van 1.8 W/(m²K) [Wood, 2011]. De reflecterende laag is echter vaak goed zichtbaar vanaf de buitenkant van het gebouw.

Naast herstel van kozijnen en ramen, verbetering van de kierdichting en het gebruik van luiken, dikke overgordijnen of rolgordijnen (met reflecterende folie) kan ook worden gedacht aan het vervangen van het glas. Mogelijkheden die geschikt zijn voor monumenten zijn:

- Enkel glas of gelaagd glas met een low-e coating [Hermans, 2011]. Het voordeel hiervan is dat de U-waarde lager is dan van normaal enkelglas en dat geen aanpassingen nodig zijn aan de kozijnen en ramen. De U-waarde van dergelijk glas ligt nabij de 3.5 W/(m²K).
- Dun dubbelglas bestaande uit twee ruiten van 3 à 4 mm en een spouw van 3 mm gevuld met een mengsel van krypton en xenon [Hermans, 2011; Wood, 2011]. Ook dit glas is relatief dun en goed in te passen in bestaande ramen en kozijnen. Het glas is echter wel zwaarder dan normaal enkelglas en relatief duur en de ramen dienen sterk genoeg te zijn voor dit extra gewicht. De U-waarde van dit glas ligt net onder de 2.0 W/(m²K).
- In-situ gemaakt dubbelglas gebruik makend van het bestaande glas [Hermans, 2011; Wood, 2011]. Door middel van afstandshouders aan de rand en kit wordt een tweede glasplaat aan de binnenzijde bevestigd op de bestaande ruit. Op die manier ontstaat dubbelglas met een met lucht gevulde

⁴ Volgens DIN 4108-3: 2014 mag de hoeveelheid condensaat in de winter bij een steenachtige muur met niet vorstgevoelige bakstenen niet meer bedragen dan $0.05 \cdot w_{cr} \cdot d$ kg/m² met w_{cr} het kritische watergehalte [kg/m³] van de baksteen en d de dikte [m] van de baksteen. Het kritisch watergehalte van baksteen ligt in de buurt van 100 kg/m³. Echter, houten balken in de gevel en andere houten elementen in de gevel lopen wel een hoog risico op aantasting. Indien er hout aanwezig is in de gevel, dan geldt maximaal $0.03 \cdot \rho \cdot d$ kg/m² met ρ de soortelijke massa van het hout [kg/m³]; voor plaatmateriaal komt dit in de praktijk neer op zo'n 0.1 à 0.2 kg/m² als maximale hoeveelheid condensaat [van der Linden et al., 2016].

⁵ Bij een gemiddelde woning geldt dat ventilatie/infiltratie verantwoordelijk is voor zo'n 16-22% van het totale energieverlies terwijl de buitenmuren, koudebruggen, de ramen en deuren, het dak en de vloer verantwoordelijk zijn voor respectievelijk 22-33%, 7%, 8-14%, 25-34% en 4-13% [Stappers & Schellen, 2011]. Bij oudere gebouwen kan het aandeel infiltratie in de ventilatie- + infiltratieverliezen aanzienlijk zijn.

spouw. De U-waarde is dan ook vergelijkbaar aan normaal dubbelglas met een met lucht gevulde spouw. Deze methode is echter niet reversibel. Een alternatief is om de tweede plaat te vervaardigen uit kunststof en deze vast te zetten met een kliksysteem of magneten.

- Achterzetramen [Hermans, 2011; Wood, 2011]. Met enkellaags achterzetbeglazing is ook een U-waarde van ongeveer $2.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ haalbaar [Wood, 2011]. Uit onderzoek in Schotland is tevens gebleken dat indien de achterzetbeglazing luchtdicht wordt uitgevoerd ook geen condensatie meer optreedt op het glas [Wood et al., 2009]. Indien deze niet luchtdicht uitgevoerd wordt, dan neemt de hoeveelheid condensaat op de buitenruit in de winter toe. Het voordeel van deze oplossing is dat het beeld aan de buitenkant niet verandert en dat de bestaande ramen, kozijn en beglazing kunnen blijven gehandhaafd. Daarnaast is de oplossing reversibel.
- Vacuümglas [Tenpierik, 2010; Hermans, 2011]. Vacuümglas bestaat uit twee dunne glasplaten van 3 mm met daartussen een dunne spouw van 0.2 mm. Deze spouw is vacuüm gezogen waardoor een lage U-waarde ontstaat. Een recente ontwikkeling is vacuümglas waarop ook een low-e coating is aangebracht. De U-waarde is ongeveer $0.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ hetgeen vergelijkbaar is met drielaags glas. De verwachting is dat in de nabije toekomst vacuümglas op de markt zal worden gebracht met een U-waarde van $0.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Het voordeel van vacuümglas is dat het gewicht en de dikte vergelijkbaar zijn aan dat van dik enkelglas en dat toch een lage U-waarde gerealiseerd kan worden. Het nadeel zijn de zichtbare afstandshouders tussen de glasplaten en de zichtbare vulnippel.

Ook aan het verbeteren van de thermische kwaliteit van met name het glas en aan het verbeteren van de kierdichting zijn risico's en randvoorwaarden verbonden:

Door het verbeteren van de kierdichting van de kozijnen en ramen zal het energieverlies ten gevolge van infiltratie afnemen. Bij historische gebouwen echter speelt juist deze luchtuitwisseling een belangrijke rol bij het drooghouden van houten kozijnen en ramen. Daarnaast was dit ook een belangrijke bron van verse lucht voor de gebruikers van het gebouw. Bij kierdichting is het daarom noodzakelijk om te zorgen dat er voldoende ventilatie aanwezig is langs andere weg. Tevens is het van belang om te zorgen dat de relatieve luchtvochtigheid van de binnenlucht niet te hoog is in de winter om condensatieproblemen te voorkomen.

Ouderwets glas zoals cilinderglas, slinger glas en getrokken glas is vaak karakteristiek in de onregelmatigheid van het oppervlak [Nusselder, 2008; Hermans, 2011]. Dit is een direct gevolg van de productietechniek. Modern floatglas is ontzettend vlak. Bij historische gebouwen kan juist deze vlakheid van modern glas het beeld van de gevel sterk negatief beïnvloeden. Sommige van de bovengenoemde varianten ter verbetering van het glas kunnen ook uitgevoerd worden met monumentenglas dat meer onregelmatigheden aan het oppervlak vertoont. Het totale glaspakket wordt echter wel dikker.



DE IJSSELSTROOM

1911

16

3. Casus 1: De IJsselstroom, Zutphen

Adres: Vliegendijk 16, 7205 CJ Zutphen, Nederland
Monumentstatus: Gemeentelijk monument
Transformatiejaar: 2014
Oude functie: Stoomwasserij
Nieuwe functie: woning, kantoor, vergader- en evenementenlocatie
Website: <https://www.deijsselstroom.info/>



3.1 Korte beschrijving

De IJsselstroom op een dijk net buiten de binnenstad van Zutphen betreft een voormalige stoomwasserij die in 2014 uitvoerig is getransformeerd tot woning, kantoor en evenementenlocatie. Het betreft een kenmerkende fabriek (met sheddaken en schoorsteen) langs de IJssel. Belangrijk uitgangspunt tijdens de transformatie was dat het pand energieneutraal zou moeten worden. Tevens vond de eigenaar het belangrijk dat veel van de oorspronkelijke details behouden moesten blijven. Uitgangspunten bij de transformatie waren⁶:

1. “De IJsselstroom transformeren tot een energieneutraal pand, dat duurzaam behouden blijft voor de toekomst.
2. De verhalen over de geschiedenis en thema’s als duurzaam restaureren, bouwers van de toekomst en wonen in de uiterwaarden, aansprekend verbeelden in een documentaireserie en een boek.
3. De IJsselstroom beschikbaar stellen als exclusieve kleinschalige locatie voor culturele voorstellingen, conferenties en presentaties, en als gastenverblijf.
4. Een comfortabele woning en inspirerende kantoorruimten creëren op deze vrije locatie.”

Tijdens de transformatie is echter veel opnieuw opgebouwd maar sommige zaken, zoals de zichtbare oorlogsschade, zijn behouden gebleven. Een uitgebreide omschrijving van de technische en monumentale staat kan worden teruggevonden in de rapporten ‘Bouwhistorische verkenning en waardestelling’ van Bureau voor Bouwhistorie en Architectuurgeschiedenis (Stenvert, 2008), ‘Advies instandhouding en duurzame herbestemming conform methode DuMo’ van Nusselder en Zandijk (2014) en het boek ‘De IJsselstroom – van stoomwasserij tot duurzaam monument’ van Koolhof et al. (2014).

3.2 Energetische transformatie

Om tot energieneutraliteit te komen na de transformatie is het pand geïsoleerd aan de binnenzijde van de gevel. Verder is het dak geïsoleerd en is gebruik gemaakt van moderne technieken met betrekking tot energieopwekking en –afgifte. Samengevat zijn de volgende maatregelen getroffen:

- Doordat het gehele pand gerestaureerd werd, kon lagetemperatuurvloerverwarming aangelegd worden. Er is individueel regelbare vloerverwarming aangebracht met een warmtepomp voor levering van warmte (figuur 3.1a), gekoppeld aan een WKO in de bodem van de dijk. Verder is er een aanvullende houtkachel in het evenementengedeelte om extra piekvermogen te kunnen geven (figuur 3.1c). Daarnaast heeft de eigenaar de wens om in de toekomst ook een houtvergasser te installeren die aanvullende warmte kan leveren voor het verwarmingssysteem. Doordat het pand buitendijks staat bestond er geen regelgeving voor de WKO.
- De ventilatie in het pand is aangepakt (figuur 3.2a). De oorspronkelijke ventilatievoorzieningen direct onder de sheddaken in de oost- en westgevels (figuur 3.3) zijn voorzien van isolatiemateriaal en worden niet meer gebruikt voor de ventilatie.
- Er is isolatie aangebracht aan de binnenkant van de gevel van het type Faay W’all-in-One® PG90.
- De beganegrondvloer is vernieuwd (beton) en voorzien van EPS aan de onderzijde. De vloer ligt vrij tussen de bouwmuren.

⁶ <https://www.herbestemming.nu/projecten/oude-wasserij-de-ijsselstroom-zutphen>

- De stalen vensters zijn hersteld (en/of vervangen door stalen vensters uit een ander deel van het gebouw) maar niet voorzien van kierdichting (figuur 3.4a). Deze vensters bevatten normaal enkelglas. Deze kunnen flexibel thermisch verbeterd worden door losse door de eigenaar gemaakte achterzetramen van plexiglas die met magneten vastgezet kunnen worden. Door het enkelglas in de vensters te laten zitten konden de dunne roeden behouden worden.
- De houten vensters in het woongedeelte waren in slechte staat en waren in de loop der jaren reeds meerdere malen vervangen. Ook nu weer zijn nieuwe houten kozijnen aangebracht met goede kierdichting en isolerende beglazing (HR++). De buitenste glasplaat is van getrokken glas.
- De Schokbetonvensters in de oostgevel zijn in-situ gerepareerd en bevatten enkelglas. Ook deze vensters kunnen thermisch verbeterd worden door de eerdergenoemde flexibele achterzetramen van plexiglas.
- De oorspronkelijke daken en vloeren zijn gemaakt van naaldhout. Bij transformatie is dakisolatie toegevoegd van dunne PIR panelen (6 + 3 cm overlappend aangebracht) waardoor dakranden niet hoefden te worden aangepast. De platen zijn aan de buitenzijde voorzien van een dampdichte bitumineuze en aluminiumcachering. Onder de platen is een dampdichte folie aangebracht. De R_c -waarde is in de orde van $3.5 \text{ m}^2\text{K/W}$. De vlakke daken zijn verder voorzien van een sedumdak. De sheddaken gericht naar het noorden zijn voorzien van dakramen, uitgevoerd in dubbelglas, en de sheddaken gericht naar het zuiden zullen in de toekomst worden voorzien van zonnepanelen.
- Er is naar gestreefd om zoveel mogelijk authentieke details te behouden.



Figuur 3.1 – foto's van de verwarmingsinstallatie: a.) warmtepomp; b.) watervat; c.) houtkachel.



Figuur 3.2 – foto's van de mechanische luchtventielen in de centrale evenementenruimte (a) en bijkeuken (b).



Figuur 3.3 – foto van de oorspronkelijke ventilatielouvers direct onder de sheddaken; buitenkant (a); binnenkant (b).

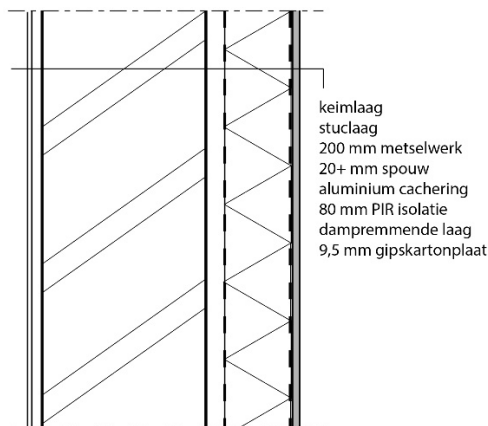


Figuur 3.4 – foto's van een stalen venster op de begane grond (a), een Schokbetonnen venster op de begane grond (b) en een houten venster op de begane grond (c).

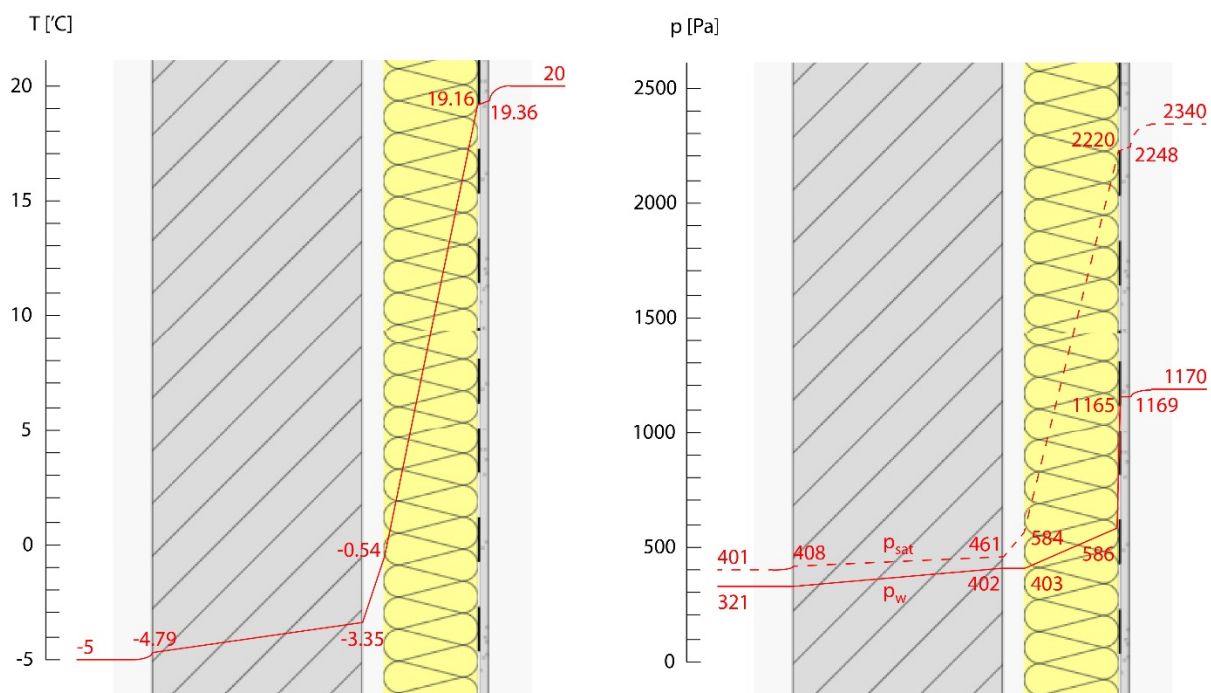
3.3 Na-isolatie gevel

De oorspronkelijke gevel voor de transformatie bestond uit metselwerk (steens, dikte 20 cm) met zowel aan de binnen- als de buitenzijde een pleisterlaag. Omdat de oorspronkelijke aan de buitenkant van de gevel aanwezige pleisterlaag van slechte kwaliteit was en daardoor vernieuwd moest worden, wilde de architect/eigenaar in eerste instantie isolatie aan de buitenkant van de gevel aanbrengen. Deze isolatieoplossing wordt over het algemeen gezien als bouwtechnisch de meest veilige optie van na-isolatie omdat veel hygrische en thermische problemen daarmee voorkomen kunnen worden. Echter, de monumentencommissie stond deze oplossing niet toe vanwege de wens tot behoud van authenticiteit.

Tijdens de transformatie is daarom isolatie aangebracht aan de binnenkant van de gevel van het type Faay W'all-in-One® PG90. De opbouw hiervan van binnen naar buiten is: 9.5 mm gipskartonplaat, dampremmende folie, 80 mm dikke PIR-isolatieplaat, reflecterende aluminiumfolie, ca. 2 cm dikke luchtsponw, metselwerk muur (steens muur), stuclaag, keimlaag (figuur 3.5). De toegevoegde R_c -waarde t.g.v. de isolatie bedraagt ongeveer $4.06 \text{ m}^2\text{K/W}$. Het systeem wordt bevestigd met verbinderregels die op de muur worden geschroefd. De afmetingen van de PG90 platen bedragen: 60 cm breed; verdiepingshoog. Dit is in theorie een veilige constructie. De aanwezigheid van een dampremmende laag zou in beginsel problemen van inwendige condensatie moeten voorkomen, mits deze laag niet doorbroken is. Dit blijkt ook uit de Glaserberekening zoals weergegeven in figuur 3.6.



Figuur 3.5 – Doorsnede over een m² pakket van de gevel.



Figuur 3.6 – Grafische weergave van een Glaserberekening van het gevelpakket na transformatie van De IJsselstroom voor wintercondities (buitentemperatuur -5°C; binnentemperatuur 20°C; relatieve luchtvochtigheid buiten 80%; relatieve luchtvochtigheid binnen 50%). Links: temperatuur door constructie; rechts: werkelijke en verzadigingsdampspanning; door de dampremmende laag treedt er in de winter geen inwendige condensatie op.

Echter, doorbrekingen van de dampremmende laag bij onder andere stopcontacten en aansluitingen kunnen ervoor zorgen dat er alsnog vocht en vochtige lucht achter de damprem terecht komt in de spouw. Daar kan deze vochtige lucht zich gemakkelijk verder verspreiden tot een plek waar de temperatuur lager is dan het dauwpunt met aldaar condensatie als gevolg (Stappers en Schellen, 2011). In de voorzetwanden in dit project zitten inderdaad diverse lekken. Volgens de architect is er in het werk veel fout gegaan met betrekking tot de damprem. Er zijn gaten aangebracht in de Faaij wanden om enkele stopcontacten aan te brengen. Deze gaten zijn rondom de stopcontacten met PUR schuim afgedicht en zouden daarom bij goede uitvoering dampdicht kunnen zijn.

Verder is de spouw op veel plaatsen dikker dan de beoogde 2 cm. De oorzaken hiervan waren scheefstand van en oneffenheden aan de gevels terwijl de nieuwe voorzetwand wel te lood is gesteld.

Voorts zijn houten balken opgelegd in de metselwerk gevels. De koppen van deze balken lopen mede door het aanbrengen van isolatie een verhoogd risico op hoge vochtbelasting met mogelijke houtaantasting tot gevolg. Deze balkkoppen zijn niet geïnjecteerd met een beschermingsmiddel en worden niet gemonitord. De stuc- en keimlaag aan de buitenzijde zijn in principe dampopen waardoor ontstaan vocht naar buiten kan diffunderen. Hoe de balkkoppen zich zullen houden zal de tijd moeten uitwijzen. Momenteel is er in elk geval geen zichtbare vochtschade. Wel vertoont de buitenafwerking diverse scheurpatronen waarvan een deel is te verklaren door verzakking, maar een deel ook niet. In hoeverre hier wellicht een relatie is met vocht, is op basis van een globale visuele inspectie niet vast te stellen.

Tot slot sluiten enkele steenachtige binnenwanden aan op de gevel. Op deze plaatsen ontstaat een koudebrug met tevens lagere oppervlaktetemperaturen nabij de hoekpunten.

3.4 Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde

Om het pand te verduurzamen en geschikt te maken voor lagetemperatuurverwarming was de keuze gemaakt om vloer, dak en gevel te isoleren. Omdat het stucwerk aan de buitenzijde van de gevels slecht was en deze toch verwijderd en vernieuwd moest worden, was er bij aanvang nog discussie over het aanbrengen van isolatie aan de buitenkant. Deze optie werd echter niet toegestaan door de monumentencommissie omdat daarmee teveel de authenticiteit van het pand als geheel verloren zou gaan. De monumentencommissie stond wel dubbelglas, het slopen van de garage en het toevoegen van nieuwbouw toe. In de optelsom van al deze aanpassingen werd isolatie aan de buitenzijde gezien als teveel afbreuk doen aan de authenticiteit.

Tevens was het voordeel van binnenisolatie dat de neggenwerking gezien vanaf buiten niet zou veranderen en dat er binnen iets bredere vensterbanken zouden ontstaan hetgeen mooiere verhoudingen opleverde. Uiteindelijk is daarom gekozen voor isolatie aan de binnenzijde. Echter, als nadeel wordt momenteel gezien dat de klank van de ruimtes veranderd is en dat er sprake is van ruimteverlies aan de binnenkant. Bovendien is er sprake van enige scheefstand van de metselwerkgevels waardoor de diepte van de aangebrachte spouw niet overal gelijk is en er daardoor relatief veel vloeroppervlak 'verloren is gegaan'.

Voor het isoleren van het dak is gekozen voor een dunne PIR-isolatieplaat. Omdat PIR een lage warmtegeleidingscoëfficiënt heeft, kon volstaan worden met een plaat van beperkte dikte (6 + 3 cm). Omdat de beganegrondvloer vernieuwd moest worden kon eenvoudig een relatief dikke laag EPS hieronder aangebracht worden.

Met betrekking tot de Schokbetonnen en stalen vensters in het oorspronkelijke wasserijgedeelte zijn zoveel mogelijk de oorspronkelijke vensters behouden en gerepareerd. Enkele stalen vensters in de oostgevel zijn vervangen door stalen vensters uit de oorspronkelijke noordgevel. Deze zijn voorzien van normaal enkelglas. Dubbelglas zou de slankheid van de roeden tenietgedaan hebben. Om de isolatiewaarde in de winter te verbeteren en om koudeval te voorkomen zijn zelfgemaakte plexiglas achterzetramen gemaakt die indien gewenst achter de vensters kunnen worden geplaatst; een relatief low-tech en reversibele oplossing die aanmerkelijk comfortverbetering geeft in de koude wintermaanden. In de zomermaanden, wanneer deze plexiglas achterzetramen niet gebruikt worden, dienen zij ergens te worden opgeslagen.

De houten kozijnen en ramen in het woonhuisgedeelte waren er slecht aan toe en daarom volledig vervangen. Daardoor was het ook mogelijk om deze zonder problemen te voorzien van dubbelglas. De buitenste glasplaat is uitgevoerd in getrokken glas. In hoeverre dit een grote bijdrage levert aan het authentieke uiterlijk is de vraag, gezien de strakke nieuwe kozijnen en de onmiskenbare lichtbreking van dubbelglas.

3.5 Geconstateerde gebreken

Op enkele plekken in de gevel zijn opnieuw scheuren zichtbaar, waaronder direct boven de voordeur aan de oostgevel. Veel van deze scheurvorming heeft vermoedelijk te maken met zettingen in de fundering ten gevolge van enerzijds regenwaterbelasting vanaf de kant van de dijk, het wisselende waterniveau van de naastgelegen zijarm van de IJssel en periodes met langdurige droogte. Tevens heeft de nieuwe schuifpui in het nieuw aangebouwde gedeelte aan het pand een tijd lang geklemd. Ook dit heeft met de genoemde zettingen in de fundering te maken. De andere scheurvorming vraagt om nader onderzoek voordat kan worden aangegeven wat hiervan de oorzaak is.

Verder zijn er bij enkele vensters in de vensterbanken sporen van opgedroogd vocht zichtbaar. Dit is een gevolg van regenwater dat door de kier (in het bijzonder bij de scharnieren) bij de stalen ramen in de oostgevel naar binnen komt. In het bijzonder de combinatie van harde regen en wind zorgt voor deze regenproblemen. De eigenaar heeft ondertussen zelfgemaakte regenschermen gemaakt om het naar binnen spuiten van regenwater te beperken.

Tot slot is er zo nu en dan sprake van condensatie op het enkelglas in de winter. Dit is een bekend verschijnsel bij enkelglas zodra de binnenoppervlaktetemperatuur in de winter onder het dauwpunt terecht komt.

Er zijn verder geen vochtproblemen ten gevolge van het aanbrengen van de binnenisolatie en nabij de houten balkkoppen geconstateerd tijdens ons bezoek in augustus. Ook bij de eigenaar zijn dergelijke problemen niet bekend. De vochtproductie in het pand is echter ook laag, met vooral tijdelijke pieken indien er grotere groepen mensen zijn in verband met een vergadering of bijeenkomst.

3.6 Conclusie

Na-isolatie van de gevel van de IJsselstroom in Zutphen is uitgevoerd in de vorm van een dampdichte voorzetwand op basis van 80 mm met aluminium gecacheerde PIR, een dampremmende folie en een gipskartonnen afwerkplaat. Deze voorzetwand is geplaatst op ca. 20 mm afstand van de bestaande binnenzijde van de steensmuur gevel. In beginsel is dit bouwfysisch een juiste constructie omdat de damprem zou moeten voorkomen dat er inwendige condensatie optreedt achter de isolatieplaat. Echter, het gevaar is aanwezig dat door doorbreking van de damprem door bijvoorbeeld stopcontacten alsnog vochtige lucht achter de dampremmende laag terechtkomt. Bij dit project zijn de gaten rondom de stopcontacten dichtgezet met PUR schuim. Voor zover bekend zijn er geen vochtproblemen geconstateerd. Het is echter puur op basis van een visuele inspectie vanaf de binnenkant en buitenkant van de gevel moeilijk na te gaan of er zich vocht bevindt in de spouw en of er over de loop der jaren een risico van schimmelvorming is. De PIR platen zelf zijn in principe niet gevoelig voor vocht. Een risico treedt wel op bij de houten balkkoppen die opgelegd zijn in het metselwerk, mede ook omdat het metselwerk door de na-isolatie waarschijnlijk gemiddeld een hoger vochtgehalte zal hebben. Ook hier zijn vooralsnog geen vochtproblemen geconstateerd.



4. Casus 2: Polderhuis, Landgoed Sevenaer, Zevenaar

Adres: Wittenburgstraat 7 / Markt 25, 6901 AN Zevenaar, Nederland

Monumentstatus: Rijksmonument

Transformatiejaar: 2011-2014

Oude functie: Burgemeesterswoning / Rentmeesterswoning / Polderhuis

Nieuwe functie: restaurant Eet-Lokaal en vergaderruimtes

Website: <https://www.huissevenaer.nl/>



4.1 Korte beschrijving

Het landgoed betreft een kasteelboerderij ontstaan in de 13e eeuw. Sinds 1785 is het landgoed in het bezit van de familie van Nispen. Het is circa 120 ha groot en wordt beheerd op basis van 'een evenwichtig systeem van landbouw en natuur'. Halverwege de 20^{ste} eeuw was er druk op het landgoed om het vol te bouwen. De jonkheer van Nispen heeft dit tegen kunnen houden via allerlei procedures. Het gevolg hiervan was dat het merendeel van het beschikbare geld aan deze procedures op ging waardoor er weinig beschikbaar was voor onderhoud. In de jaren '80 van de 20^{ste} eeuw was het Polderhuis, onderdeel van het landgoed, bewoond door krakers met als gevolg dat het pand volledig was uitgeleefd. Sinds 2010 worden door de stichting die het landgoed beheert diverse renovaties uitgevoerd: de veestal, het Polderhuis en de binnenplaats. In 2012 werd allereerst herstel en verbetering van de gevels en daken van het Polderhuis uitgevoerd; in 2014 werd de binnenkant aangepakt. Het geld voor deze transformaties kwam in twee tranches beschikbaar waardoor een samenhangende aanpak lastig bleek. In 2013 tot slot is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd door Erfgoed installaties aangaande 'Energieopwekking en -besparing landgoed Sevenaer' waarin ook het polderhuis meegenomen is (Kivit, 2013).

4.2 Energetische transformatie

Tijdens de transformatie van het pand zijn onder andere de volgende maatregelen getroffen:

- Voor de renovatie zat er geen centrale verwarming in het pand. De nieuwe verwarming is gebaseerd op vloerverwarming in enkele ruimtes op de begane grond (daar waar de vloeren vernieuwd zijn) en radiatoren (met ventilatoren en thermostaatkranen) in de overige ruimtes in het pand (figuur 4.1a). De thermostaatkranen zijn via een draadloze verbinding centraal regelbaar. De verwarming wordt gevoed vanuit een lucht-water warmtepomp waarvan de buitenunit in de tuin is geplaatst (figuur 4.1b). In aanvulling hierop staan op de zolder gasgestookte CV ketels om in de winter extra piekvermogen te kunnen geven (figuur 4.1c). Verder staat er op de zolder een boilervat (figuur 4.1d).
- Er is een systeem van balansventilatie met warmteterugwinning aangebracht met toevoer-punten in de gebruiksruimtes en afzuigpunten in met name keukens en toiletten (figuur 4.2).
- Na-isolatie is uitgevoerd aan de binnenzijde van de gevel met een voorzetwandconstructie op basis van minerale wol (zie par. 4.3). De zoldervloer van het Polderhuis was reeds voor de transformatie geïsoleerd. De zolder wordt uitsluitend gebruikt als opslag.
- De oorspronkelijke houten balkkoppen zijn opgelegd in de buitengevel. Rond de balkkoppen zijn houten regels aangebracht waartegen de gipskartonplaten afwerking bevestigd kon worden. Nabij de zijgevel bevinden zich ook strijkbeugels tegen de binnenzijde gevel. Deze zijn niet geïsoleerd (figuur 4.3).
- Indien ramen / kozijnen vernieuwd zijn, dan zijn deze tevens voorzien van dubbelglas van het type monumentenglas. De ramen / kozijnen die niet vernieuwd zijn, zijn voorzien van enkelglas achterzetbeglazing. Kozijnen zijn traditioneel hersteld. Aan de voorzijde zijn in de ramen die nog open kunnen tochtstrippen aangebracht. Sommige ramen zijn volledig dicht gekit en daarmee niet meer te openen (figuur 4.4).
- De meeste verdiepingvloeren zijn aan de onderzijde voorzien van akoestische isolatie tussen de balken in.



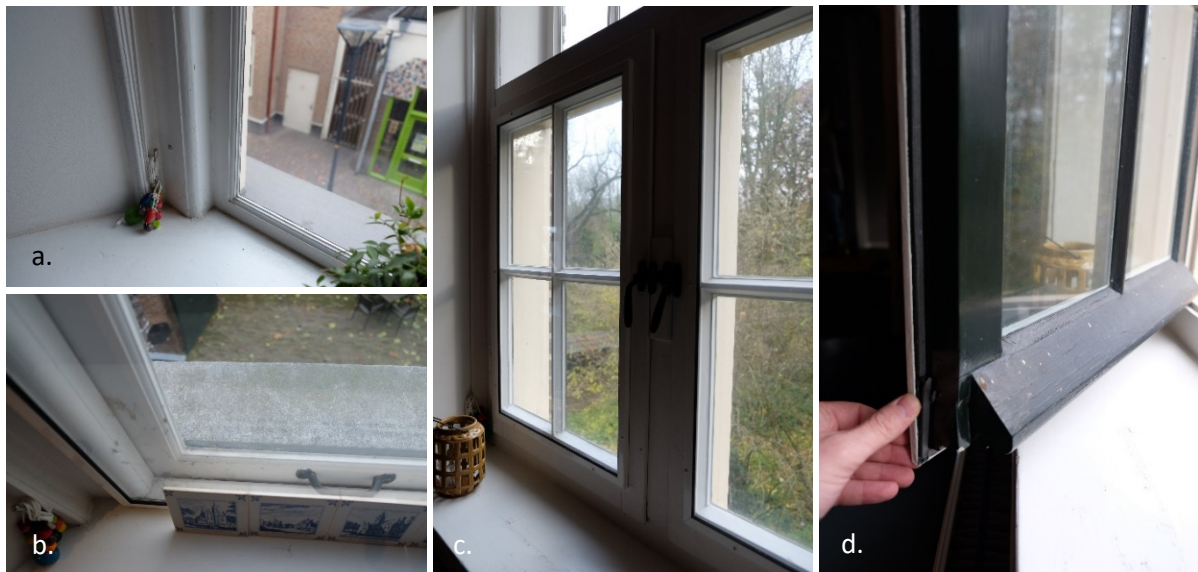
Figuur 4.1 – foto's van de verwarmingsinstallatie: a.) radiatoren; b.) buitenunit lucht-water warmtepomp; c.) CV ketels voor piekvermogen; d.) boilervat.



Figuur 4.2 – foto's van het ventilatiesysteem: a.) warmteterugwinunits; b.) toevoerpunt in vertrek.



Figuur 4.3 – foto's van de houten balken: a.) moerbalk opgelegd in de gevel; b.) strijkbalk tegen oorspronkelijke gevel.

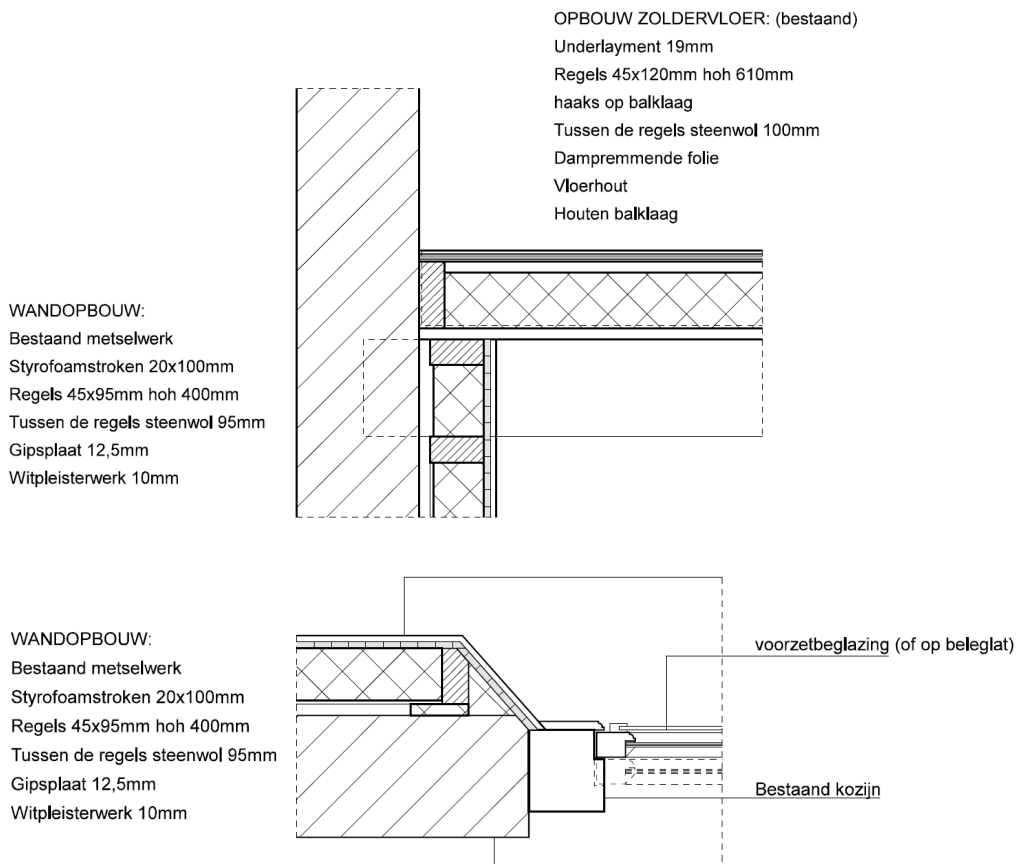


Figuur 4.4 – foto's van de vensters: a.) dicht kozijn met monumentenglas; b.) dicht kozijn met enkelglas en achterzetbeglazing; c.) te openen ramen met enkel glas en achterzetbeglazing; d.) aangebrachte kierdichting.

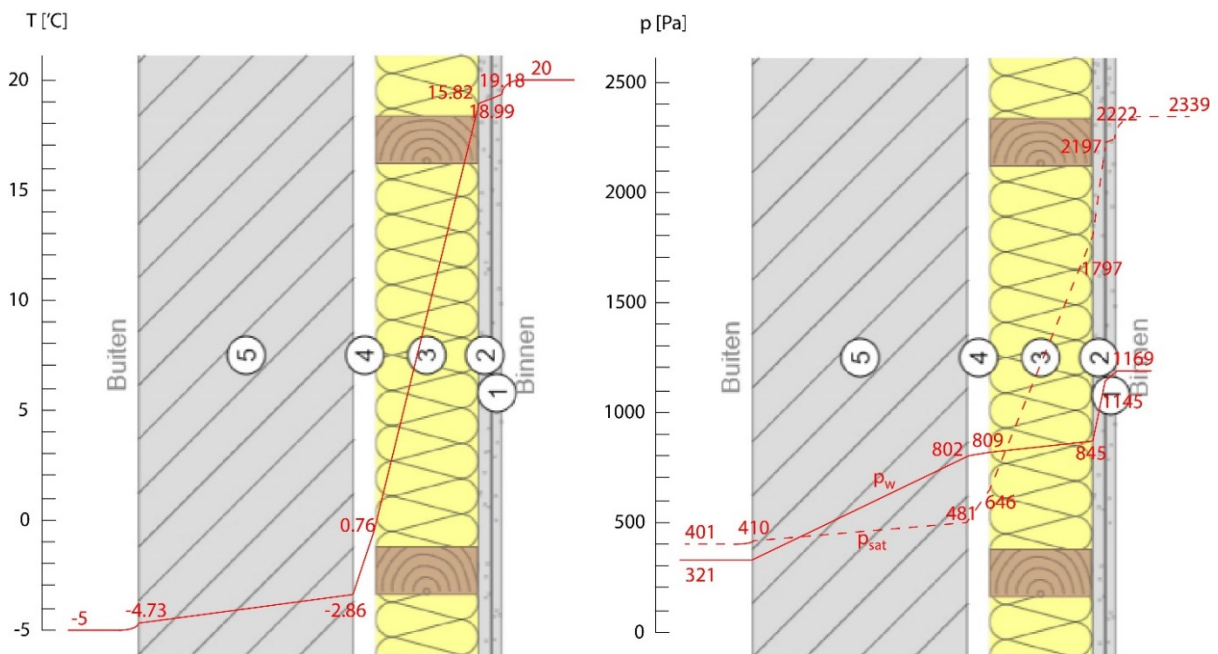
4.3 Na-isolatie gevel

De oorspronkelijke gevel voor de transformatie bestond uit (anderhalf)steens metselwerk waarvan op alle gevels het voegwerk plaatselijk was uitgevallen, plaatselijk metselwerk los zat en verspreid stenen kapot waren. Deuren, (kruis)kozijnen en onderdorpels waren ingerot of geheel verrot. De oorspronkelijke gietijzeren goot was aangetast/verroest en is vervangen door kunststof. Voor de openingen in de gevels zijn de bestaande kozijnen gebruikt met nieuwe enkelglas achterzetbeglazing (op het raam of op de beleglat), of zijn kozijnen/ramen vernieuwd en voorzien van dubbel monumentenglas. Daarmee wordt de thermische prestatie van de oorspronkelijke enkele beglazing verbeterd. Voorts is de kierdichting van te openen delen verbeterd.

Het pand heeft monumentale waarde en de buitenkant mocht om die reden niet worden aangepast. De isolatie is daarom aan de binnenzijde aangebracht via voorzetwanden. De opbouw hiervan van binnen naar buiten is: 10 mm witpleisterwerk, 12.5 mm gipskartonplaat, 95mm steenwol tussen houten stijlen 45x95 mm (hard-op-hard afstand 400 mm), 20 mm ongeventileerde luchtsponw (met 20x100 mm styrofoamstroken achter de stijlen om tussen het metselwerk en de voorzetwand een sponw te garanderen), bestaand metselwerk (steensmuur) (zie figuur 4.5). Er is geen dampremmende laag aanwezig. In figuur 4.6 is de Glaserberekening van deze gevelopbouw weergegeven voor een extreme wintersituatie. Zoals te zien is deze constructie zonder dampremmende laag een risicovolle constructie omdat er in de winter onherroepelijk inwendige condensatie optreedt. Of er in de praktijk ook daadwerkelijk problemen optreden hangt van de volgende factoren af. Indien er in de winter minder condensaat ontstaat dan er in de zomer weer uit kan, dan hoeft dit niet tot ernstige vochtproblemen te leiden. De hoeveelheid condensaat in de winter wordt voor een belangrijk deel bepaald door de hoeveelheid vocht in het pand. Het balansventilatiesysteem zou er in dit geval voor moeten zorgen dat de relatieve luchtvochtigheid binnen laag blijft. Tabel 4.1 geeft een maandelijkse Glaserberekening weer die laat zien dat er op jaarbasis inderdaad meer vocht verdampt dan er condenseert. Condensatie zal voornamelijk op het binnenoppervlak van de steensmuur optreden. De maximale hoeveelheid condensaat op deze plek bedraagt bijna 1.9 kg/m² eind maart.



Figuur 4.5 – Details van de voorzetwanden en achterzetbeglazing afkomstig van de bouwtekeningen van de architect.



Figuur 4.6 – Grafische weergave van een Glaserberekening van het gevelpakket na transformatie van het Polderhuis voor extreme wintercondities (buitentemperatuur -5°C; binnentemperatuur 20°C; relatieve luchtvochtigheid buiten 80%; relatieve luchtvochtigheid binnen 50%). Links: temperatuur door constructie; rechts: dampspanning door constructie.

Tabel 4.1 – Maandelijks Glaserberekening met in de laatste kolom de hoeveelheid achterblijvend condensaat.

maand	uren	T_e [°C] ¹	RV_e [-] ¹	$p_{w,e}$ [Pa]	T_i [°C]	RV_i [-] ²	$p_{w,i}$ [Pa]	$G_{in/uit}$ [g/m ²] ³	G_{acc} [g/m ²] ⁴
januari	744	2,6	0,90	664	21,0	0,49	1233	575	1360
februari	672	4,8	0,84	724	21,0	0,50	1234	355	1715
maart	744	5,9	0,78	726	21,0	0,48	1206	177	1892
april	720	9,3	0,74	869	21,0	0,50	1258	-723	1169
mei	744	14,7	0,75	1259	21,0	0,60	1501	-1252	0
juni	720	16,1	0,76	1395	21,0	0,64	1600	-1168	0
juli	744	18,1	0,79	1639	21,0	0,72	1791	-1294	0
augustus	744	18,5	0,81	1726	21,0	0,75	1867	-1334	0
september	720	15,6	0,83	1476	21,0	0,68	1694	-970	0
oktober	744	10,4	0,86	1086	21,0	0,58	1446	57	57
november	720	8,0	0,89	955	21,0	0,55	1380	262	319
december	744	4,0	0,88	716	21,0	0,50	1248	466	785

¹ Buitentemperaturen en luchtvochtigheden gebaseerd op tabel 17.1 uit NTA8800 en tabel A.1 uit NEN5060.

² Optredende luchtvochtigheid binnen gebaseerd op NEN-EN-ISO 13788 klasse 2.

³ + is netto condensatie; - is netto verdamping.

⁴ Geaccumuleerde hoeveelheid vocht in jan, feb, maart en april is inclusief accumulatie in laatste maanden jaar ervoor.

Volgens DIN 4108-3: 2018 mag de hoeveelheid condensaat in de winter bij een steenachtige muur met niet vorstgevoelige bakstenen niet meer bedragen dan $0.05 \cdot w_{cr} \cdot d$ [kg/m²] met w_{cr} het kritische watergehalte [kg/m³] van de baksteen en d de dikte [m]. Het kritisch watergehalte van baksteen ligt in de buurt van 100 kg/m³. In dit geval ligt er dus een bovengrens van ongeveer 1 kg/m². Indien er hout (incl. houten balkkoppen) aanwezig is in de gevel, dan geldt dat het evenwichtsvochtgehalte in het hout als gevolg van condensatiewater niet mag worden verhoogd met meer dan 5%; voor producten met houtachtig materiaal geldt een toename van 3% als grens. Veelal wordt een hoeveelheid vocht aangehouden van maximaal $0.03 \cdot \rho \cdot d$ [kg/m²] met ρ de soortelijke massa van het hout [kg/m³]; voor plaatmateriaal komt dit in de praktijk neer op zo'n 0.1 à 0.2 kg/m² als maximale hoeveelheid condensaat [van der Linden et al., 2016]. Dit betekent dat de na-geïsoleerde constructie als risicovol moet worden beschouwd.

Bij aansluitingen met steenachtige binnenwanden, zoals op de begane grond voor de bar, is de isolatielaag aan de binnenzijde niet doorgezet over deze aangrenzende binnenwand. Dit betekent dat deze aansluiting een koudebrug vormt die mogelijk door een lage oppervlaktetemperatuur in het hoekpunt condensatieproblemen zou kunnen geven.

4.4 Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde

Vanwege de verwachtingen van de gebruikers was na-isolatie een vereiste. Mensen willen immers niet in een koud en tochtig restaurant zitten en de gebruiker wil ook niet een te hoge energierekening. De buitenkant van het pand mocht echter niet worden geïsoleerd vanwege monumentale waarde en er was geen spouw aanwezig. Na-isolatie aan de binnenzijde was daarom de enige oplossing. Dit heeft er echter wel toe geleid dat de sleutelstukken door de voorzetwand nog maar half zichtbaar zijn (zie figuur 4.3).

Voor de binnengevelisolatie is gekozen voor een dampopen variant. Hier is door de architect bewust voor gekozen omdat er veel stopcontacten en balkkoppen waren die de damprem toch zouden doorbreken. Om inwendige condensatie in de hand te houden is een balansventilatiesysteem aangelegd opdat de relatieve luchtvochtigheid in het pand laag gehouden kan worden. Op de eerste verdieping is over het algemeen de vochtproductie laag; er zijn weinig mensen aanwezig tenzij er een feest is. De

begane grond wordt intensiever gebruikt als restaurant en bevat een keuken waar de vochtproductie hoog is. Extra afzuiging in de keuken zou dit in de hand moeten houden is de gedachtegang.

De kap van het pand is niet geïsoleerd maar wel de zoldervloer. De keuzeafweging hierbij waren de kosten; naast opslag wordt de zolder verder niet gebruikt waardoor isolatie van de kap niet rendabel is. De begane grondvloer is deels geïsoleerd op die plekken waar de vloer is vernieuwd.

Op sommige plekken is er monumentenglas aanwezig en op sommige plaatsen enkelglas met enkelglas achterzetbeglazing. De keuze voor de ene of de andere oplossing had te maken met het al dan niet vernieuwen van de ramen/kozijnen, de uitstraling en het erbij moeten kunnen.

4.5 Geconstateerde gebreken

Volgens de gebruiker waren er in de beginfase na de transformatie enige problemen met de inregeling van de verwarming en de ventilatie. Sinds deze systemen goed ingeregeld zijn, zijn er geen problemen meer mee. Verder is de gebruiker erg tevreden over het pand, de isolatie, de verwarming en de ventilatie.

Wel wordt er in een hoek van het bargedeelte onder bepaalde omstandigheden (lage buitentemperatuur en harde wind) enige tocht of koudeval ervaren door bezoekers.

Op basis van visuele inspectie zijn er over het algemeen momenteel geen vochtproblemen geconstateerd. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat bij een visuele inspectie niet gezien kan worden wat er achter het isolatiemateriaal gebeurt.



Figuur 4.7 – IR opnames van de buitenkant van de gevel.



Figuur 4.8 – foto's van vochtproblemen in de keuken.



Figuur 4.9 – foto van zoutuitbloei op de voorgevel.

Alleen in de keuken zijn er vochtproblemen geweest op het kozijn en bij de aansluiting plafond-gevel (figuur 4.8). In deze keuken bevindt zich apparatuur met zeer hoge vochtproductie. De vermoedelijke oorzaak van de problemen is gelegen in onvoldoende mechanische afzuiging. Sinds deze afzuiging is verbeterd, lijkt het vochtprobleem opgelost.

Verder is aan de buitenkant van de voorgevel op een enkele plek zoutuitbloei zichtbaar (zie figuur 4.9).

4.6 Conclusie

Na-isolatie van de gevel van het pand Polderhuis bij landgoed Sevenaer is uitgevoerd in de vorm van een dampopen voorzetwand op basis van 95 mm minerale wol tussen houten stijlen en regels. Deze voorzetwand is geplaatst op 20 mm afstand van de bestaande binnenzijde steensmuur gevel. In beginsel is dit bouwfysisch een risicovolle constructie omdat er in de winter inwendige condensatie ontstaat op het binnenoppervlak van het metselwerk. Te verwachten is echter dat de hoeveelheid condensaat die in de winter in de constructie ontstaat in de zomer weer uit de constructie verdampt. Er zal daarom over de jaren heen waarschijnlijk geen vochtaccumulatie optreden. Echter, de hoeveelheid condensaat die eind maart in de constructie lijkt te zijn opgebouwd, is hoger dan toegestaan voor bakstenen en veel hoger dan toegestaan voor hout. De houten stijlen van de voorzetwand zijn echter los gehouden van de baksteen via 20 mm styrofoam stroken die een 20 mm spouw creëren en komen daarmee niet in direct contact met het vocht op het metselwerk. Echter, deze constructie blijft risicovol voor vochtproblemen, schimmelgroei en houtrot. De aanwezigheid van een gebalanceerd ventilatiesysteem zou voor voldoende droge lucht in het pand moeten zorgen. Verder kan indien de bezetting en daarmee vochtproductie binnen redelijk laag is dit lange tijd goed gaan. Met uitzondering van in de keuken zijn bij visuele inspectie geen vochtproblemen geconstateerd. Omdat de voorzetwand hierbij niet verwijderd is, kan niet worden nagegaan wat de toestand tussen metselwerk en isolatiemateriaal is.



5. Casus 3: Oostelijk bouwhuis, kasteel Middachten, De Steeg

Adres: Landgoed Middachten 3, 6994 JC De Steeg, Nederland

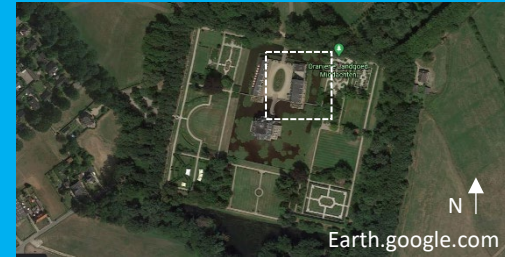
Monumentstatus: Rijksmonument

Transformatiejaar: 2012-2014

Oude functie: Nutsgebouw

Nieuwe functie: Privé woning

Website: <https://www.middachten.nl/>



5.1 Korte beschrijving

Het landgoed Middachten bevat een kasteelcomplex dat bestaat uit het kasteel en bijgebouwen. Het uit de 16^{de} eeuw daterende bouwhuis (figuur 5.1) is een van de twee (oostelijke) aan het voorplein geplaatste nutsgebouwen van de historische buitenplaats van Landgoed Middachten. Het gebouw is opgetrokken uit baksteen en heeft een met Oudhollandse blauw gesmoorde pannen gedekt zadeldak. In de verschillende gevels zijn meerdere meerruitsvensters met draairamen en luiken te vinden. In alle gevels zijn er in de gevels muurankers opgenomen (Rijksmonumenten.nl, 2014). Sinds de jaren '30 wordt het oostelijke bouwhuis als privéwoning gebruikt. Sinds deze tijd heeft er geen groot onderhoud aan dit gebouw plaatsgevonden. In 2012 is er een bouwhistorische analyse en een duurzaamheidsscan uitgevoerd. Bij het bouwhistorisch onderzoek kwam naar voren dat de houten dakconstructie van het bouwhuis uit circa 1570 dateert (Storms-Smeets, 2015).



Figuur 5.1 – foto's van het oostelijk bouwhuis voor kasteel Middachten.

5.2 Energetische transformatie

Om het pand te verduurzamen zijn diverse maatregelen getroffen. Na de transformatie bevat het gebouw de volgende onderdelen die het energiegebruik beïnvloeden:

- Ramen met verbeterde kierdichting, met enkelglas en enkelglas achterzetramen.
- Verwarming vindt plaats via radiatoren waarachter reflecterende folie is geplaatst. De warmte wordt geleverd vanuit een centraal ketelhuis dat het gehele kasteelcomplex voorziet van warmte. De huidige bron voor dit ketelhuis is aardgas. In het verleden werd ook wel hout en olie gebruikt. Van het oostelijk bouwhuis worden alleen de begane grond en de eerste verdieping verwarmd.
- De ventilatie is gebaseerd op natuurlijk toevoer van buitenlucht via de ramen; afzuiging vindt plaats in keuken en badkamer.
- Isolatie van het onderste deel van de kap (ter hoogte van de eerste verdieping) met 120/140 mm Pavatex. Daarnaast is een deel van de kap (daarboven) voorzien van Pavatex isolatie met een dikte van 35 mm. Verder is de zoldervloer (vloer boven eerste verdieping) voorzien van 120/140 mm Pavatex isolatie (zie figuur 5.2).
- De gevel op de begane grond en de beganegrondvloer zijn niet geïsoleerd.



Figuur 5.2 – foto's van de Pavatex isolatie: a.) isolatieplaat; b.) isolatie zoldervloer; c.) Pavatex onder dakbeschoot.

5.3 Na-isolatie kap

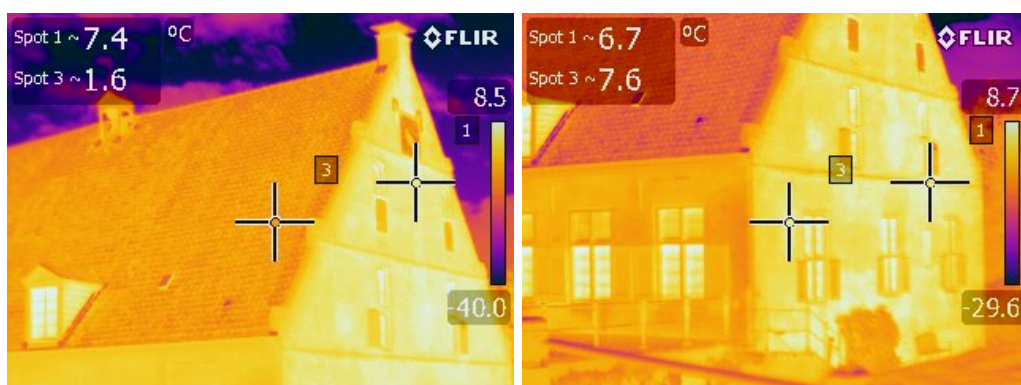
Het oorspronkelijke voorstel voor isolatie van de kap was gebaseerd op PIR isolatie. Door de angst van de graaf voor isolatie die funest zou kunnen zijn voor een monumentaal gebouw stelde hij Pavatex (op basis van houtvezels) voor. Pavatex behoort tot de categorie van capillair actieve dampopen isolatiematerialen. De kap is over een deel van het oppervlakte aan de binnenzijde voorzien van 35 mm dik Pavatex ($R_c = 0.70 \text{ m}^2\text{K/W}$). Verder is ter hoogte van de eerste verdieping het dak voorzien van 120/140 mm Pavatex ($R_c = 3.16/3.68 \text{ m}^2\text{K/W}$) onder het dakbeschoot tussen de sporen/balken (figuur 5.3). Dit alles is afgewerkt met een beschoot aan de binnenzijde. In deze constructie is geen spouw opgenomen. In deze constructie is in de basis ook geen dampremmende folie opgenomen met uitzondering van de badkamer waar de vochtbelasting vanuit binnen hoog is. Tabel 5.2, waarin een Glaserberekening te zien is, toont dat in principe het risico op vochtproblemen bij deze dakopbouw laag is. Hierin is overigens nog niet het mogelijke capillaire gedrag van het materiaal meegenomen hetgeen het risico op vochtproblemen nog verder kan verlagen.

5.4 Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde

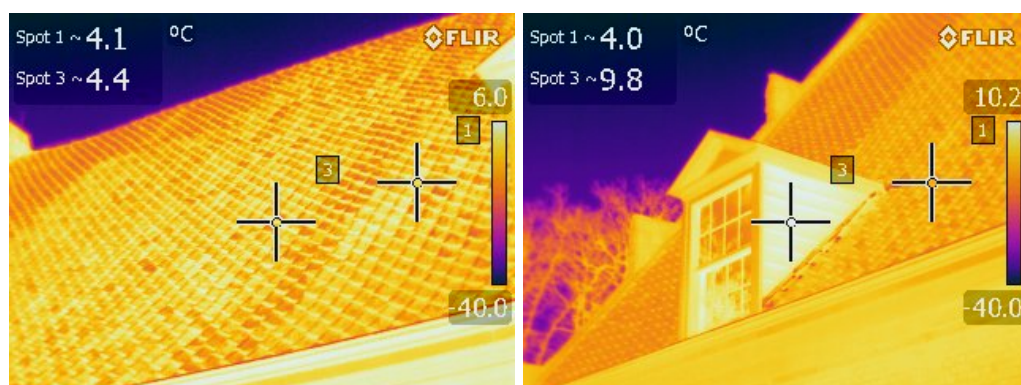
De belangrijkste redenen om het woonhuis te verduurzamen waren meer comfort en energiebesparing. De reden om de gevels niet te isoleren was dat deze gevels maar een klein verliesoppervlak inhouden terwijl het dak een groot verliesoppervlak betreft. De gevels zijn wel bouwkundig hersteld (met bijgevolg ook minder vochtopname in de baksteen). De keuze voor het materiaal Pavatex als dakisolatie kwam voort uit het feit dat de bewoner niet een traditionele dampdichte isolatie wilde maar een dampopen alternatief wilde dat in zijn ogen de technische staat van het monument niet zou aantasten.



Figuur 5.4 – IR opnames van een zijgevel. Duidelijk is te zien dat de gevel warmer is (dus slechter geïsoleerd) dan het dak en dat de deur slechter is geïsoleerd dan de gevel met matige kierdichting.



Figuur 5.5 – IR opnames van een voorgevel. Ook hier is te zien dat de gevel warmer is (dus slechter geïsoleerd) dan het dak.



Figuur 5.6 – IR opnames van een voorgevel. Te zien is dat de zijkant van de dakkapel niet is geïsoleerd. Het kleurverschil in het dak wordt veroorzaakt door nieuwe versus oude dakpannen.

5.6 Conclusie

Na-isolatie van het dak van het oostelijk bouwhuis bij Kasteel Middachten is uitgevoerd met behulp van Pavatex, een zogenaamd capillair actief dampopen isolatiemateriaal. De kap is over het gehele oppervlakte voorzien van 35 mm dik Pavatex. Verder is ter hoogte van de eerste verdieping het dak voorzien van 120/140 mm Pavatex onder het dakbeschot tussen de sporen/balken. Dit alles is afgewerkt met een beschot aan de binnenzijde. In deze constructie is geen spouw opgenomen. In deze constructie is in de basis ook geen dampremmende folie opgenomen met uitzondering van de badkamer waar de vochtbelasting vanuit binnen hoog is. Bouwfysisch lijkt dit een prima oplossing te zijn omdat er in de winter nauwelijks sprake is van inwendige condensatie en het kleine beetje ontstane condensaat weer snel verdampt in het voorjaar. Tevens zou het Pavatex in staat moeten zijn om door capillaire werking het vocht te herverdelen over het isolatiemateriaal waardoor het risico op vochtproblemen verder wordt verkleind. Tijdens de inspectie zijn er ook geen problemen geconstateerd.



6. Casus 4: Woning, Kerkhof 34, Zutphen

Adres: Kerkhof 34, 7201 DP Zutphen, Nederland

Monumentstatus: Rijksmonument

Transformatiejaar: 2015 - 2016

Oude functie: Ambtswoning

Nieuwe functie: Woning

Website: <https://wijnhuisfonds.nl/>



6.1 Korte beschrijving

De uit de 13^e eeuw daterende, binnen de voormalige 9^e eeuwse ringwalburg gelegen, hoekwoning is de laatst gebruikte ambtswoning van de proost van het Kapittel Sint-Walburgis. In 1533 werd het pand door de hertog Karel van Gelre toegewezen aan proost Sweder van Kernhem. Deze proost liet het pand ingrijpend verbouwen; dendrochronologisch onderzoek (hout datering) heeft aangetoond dat in die tijd ook de houten kapconstructie moet zijn vervangen, welke nu nog steeds aanwezig is (Krijnen, 2009). Het pand bestaat uit twee bouwblokken, waartussen zich een (huis)kapel bevindt. In de 19^e eeuw zijn sommige uit tufstenen opgetrokken gevels gepleisterd en hebben nieuwe vensters gekregen. Rond 1900 is de huidige indeling van het complex tot stand gekomen. In 1961 is het pand aangekocht door het Wijnhuisfonds dat het in de jaren 1965-1985 tot woonhuis restaureerde. In 2015 is het Wijnhuisfonds met een tweede restauratie gestart, die met name aan de binnenzijde heeft plaatsgevonden, met het idee om eventueel een kantoor-aan-huis aan de woning toe te voegen. Het pand is een rijksmonument. De beschrijving van deze casus betreft het woonhuis aan de Kerkhof 34, hetgeen slechts een deel van het complex is.

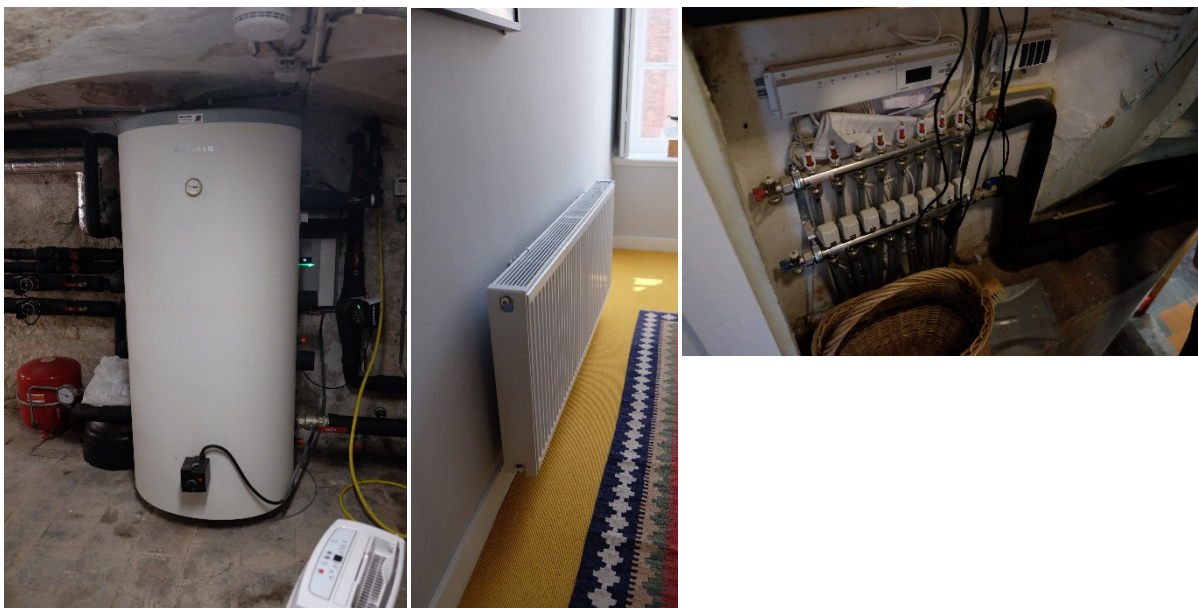
<https://wijnhuisfonds.nl/file/464/592001-bog-panelen-v2-lr.pdf>

<https://wijnhuisfonds.nl/bezit-en-ontwikkeling/lopende-restauraties/proostdijsteeg-1>

6.2 Energetische transformatie

Duurzaamheid en de wens tot ontkoppeling van het gasnet speelden een belangrijk rol bij de ontwikkeling van de restauratieplannen. Onder andere de volgende maatregelen zijn getroffen:

- Verwarmd wordt via lagetemperatuurvloerverwarming gevoed door een lucht-water warmtepomp die in de kelder staat (figuur 6.1a) met een buitenunit in de tuin. De vloerverwarming is toegepast alwaar de beganegrondvloeren vernieuwd zijn en in de badkamer(s) op de eerste verdieping. De overige ruimtes (op de eerste verdieping) zijn voorzien van kleine radiatoren die aangesloten zijn op hetzelfde systeem (figuur 6.1b).
- Tevens zijn er 14 zonnepanelen aan dit plan toegevoegd op een plat dak (figuur 6.2).
- Tijdens de renovatie is de woning voorzien van een systeem van gebalanceerde mechanische ventilatie met toevoer van lucht in de verblijfsruimten en afvoer van lucht in de keuken, toilet en badkamer (figuur 6.3b). Dit systeem is voorzien van een WTW unit op zolder (figuur 6.3a).
- Tevens staat op zolder een warmwaterboiler verwarmd via elektriciteit (figuur 6.3a).
- Een belangrijke randvoorwaarde om de overstap te kunnen maken naar een lagetemperatuurverwarmingsysteem is een voldoende mate van thermische isolatie in de schil. De bestaande bakstenen gevel van het gedeelte van de woning dat grenst aan de tuin is daarom na-geïsoleerd met 90 mm steenwol aan de binnenzijde en afgewerkt met een gipskartonplaat. Over het algemeen hebben de voorzetwanden geen dampremmende laag. In de badkamer is echter wel een 0.2 mm dikke PE damprem aangebracht en is de dikte van 90 mm steenwol teruggebracht naar 30 mm.



Figuur 6.1 – warmtepomp in de kelder (a), LT-radiator op de eerste verdieping (b) en verdeelblok vloerverwarming (c).



Figuur 6.2 – zonnepanelen op het platte dak.



Figuur 6.3 – WTW unit en boiler op zolder (a) en luchttoevoer in een van de kamers.

- De gevels, gemetseld met een handvorm baksteen, zijn hersteld en verbeterd, net als het voegwerk. Bijvoorbeeld in de gevel aan het Kerkhof bevinden zich her en der plekken waar recent bakstenen vervangen zijn als onderdeel van deze herstelwerkzaamheden. Dit is zichtbaar onder andere door kleurverschil of verschil in textuur van de stenen.
- De ramen en kozijnen grenzend aan de tuin zijn hersteld, geschilderd, voorzien van kierdichting en dun dubbelglas (monumentenglas). Op sommige andere plekken is het oude enkelglas nog aanwezig. Tevens zijn de binnenluiken hersteld en geschilderd. Naderhand zijn her en der naden afgekit (figuur 6.4).
- De voet van de schuine kap is voorzien van 90 mm minerale wol isolatie tussen de sporen (figuur 6.5). Tevens is bovenop de zoldervloer 120 mm minerale wol aangebracht met een dampremmende 0.2 mm dikke PE folie.
- Het platte dak is voorzien van 80 mm PUR isolatieplaat met een aluminium cachering.
- In een groot deel van het pand zijn nieuwe gewapend betonnen beganegrondvloeren aangebracht. Deze zijn als plaat op schoon zand gefundeerd en bestaan van beneden tot boven uit: een PE-folie, 120 mm gewapend beton (met randisolatie tussen vloer en metselwerk gevels), 100 mm EPS isolatie en een 90 mm dikke afwerkvloer.



Figuur 6.4 – houten vensters voorzien van dun dubbel monumentenglas en binnenluiken.

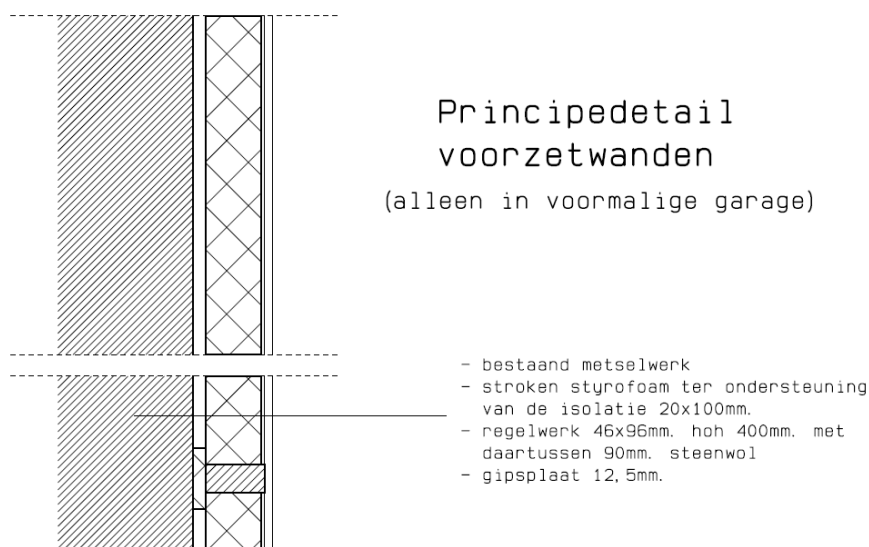


Figuur 6.5 – De dakvoet is voorzien van 90 mm minerale wol isolatie met brandwerende beplating tegen brandoverslag tot ongeveer 1.5 meter hoogte.

6.3 Na-isolatie gevel

De buitenkant van het pand heeft hoge monumentale waarde en mocht om die reden niet worden aangepast. De isolatie is daarom aan de binnenzijde aangebracht via voorzetwanden. Volgens een detailtekening van de voormalige garage, is de opbouw hiervan van binnen naar buiten: 12.5 mm gipskartonplaat, 90mm steenwol dat zich tussen 46x96mm (h.o.h. 400 mm) stijlen is geplaatst, 20 mm ongeventileerde luchtsponw (met 20x100 mm styrofoamstroken om tussen het metselwerk en de voorzetwand een sponw te garanderen en de houten regelwerk vrij te houden van het metselwerk), bestaand metselwerk (steensmuur) (figuur 6.6). Er is geen dampremmende laag aanwezig. De Glaserberekening voor deze constructie is nagenoeg identiek aan die voor het Polderhuis in Zevenaar; uitsluitend de dikte van de isolatielaag is net iets anders: 95 mm bij het Polderhuis en 90 mm bij deze woning. Figuur 4.6 en tabel 4.1 zijn daarmee dus ook min of meer van toepassing op deze woning in Zutphen. En dezelfde risico's die beschreven zijn in paragraaf 4.3 zijn ook op deze woning van toepassing. Dit betreft dus in theorie een risicovolle gevelopbouw. Verder geeft de detailtekening van de voorzetwanden in de voormalige garage aan dat er (horizontale) regels aangebracht zijn. Onduidelijk is waarom horizontale regels en geen verticale stijlen, en of het niet toch verticale stijlen betreft.

Bij aansluitingen met steenachtige binnenwanden is de isolatielaag aan de binnenzijde niet doorgezet over deze aangrenzende binnenwand. Dit betekent dat deze aansluiting een koudebrug vormt die mogelijk door een lage oppervlaktetemperatuur in het hoekpunt condensatieproblemen zou kunnen geven. Problemen zijn er echter niet geconstateerd.



Figuur 6.6 – Details van de voorzetwanden afkomstig van de bouwtekeningen van de architect (Boerman Kreek Architecten).

Voorts zijn er houten balken opgelegd in de metselwerk gevels. Deze balken zijn niet zichtbaar vanwege de aanwezigheid van verlaagde plafonds. Hoe de aansluiting plaatsvindt en hoe de isolatielaag aansluit kon niet worden gezien en beoordeeld. In beginsel gelden voor deze aansluiting dezelfde opmerkingen als reeds eerder gemaakt bij het Polderhuis in Zevenaar.

6.4 Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde

Vanwege de wens tot verlaging van het energiegebruik en tot ontkoppeling van het gasnet was na-isolatie een noodzaak. De buitenkant van het pand kon echter niet worden geïsoleerd vanwege monumentale waarde en er was geen spouw aanwezig. Na-isolatie aan de binnenzijde was daarom de enige oplossing. Voor de binnengevelisolatie is gekozen voor een dampopen variant. Hier is door de architect bewust voor gekozen omdat er veel stopcontacten en balkkoppen waren die de damprem zouden doorbreken. Door de dampopen variant wordt door dergelijke onderdelen een dampremmende laag niet doorbroken.

Bij het glas en de kozijnen is zoveel als mogelijk herstel gepleegd. Het glas is vervangen door dun dubbelglas (monumentenglas) waardoor de venters hetzelfde uiterlijk behielden. Tevens zorgen de luiken – indien gebruikt - ervoor dat in de winter de isolatiewaarde van het glas verbeterd kan worden wanneer gewenst.

6.5 Geconstateerde gebreken

Verder is de kelder erg vochtig. De bewoner heeft momenteel een ontvochtigingsapparaat geïnstalleerd dat per dag ongeveer 15 liter water uit de lucht onttrekt. Verder is er in de eetkamer op de begane grond aan de gevel die aan het Kerkhof grenst sprake van optrekkend vocht. Dit vocht komt vanuit de kelder omhoog en komt of vanuit de grond naast het pand of onder het pand. Dit optrekkend vocht geeft een risico op extra vochtbelasting in het metselwerk (achter de voorzetwand).

Verder is bij een raamkozijn in de slaapkamer op de eerste verdieping sprake van regenwater dat door kieren in het kozijn naar binnen doordringt. Op die plek is duidelijk te zien dat het kozijn hersteld dient te worden.

Verder zijn er geen (vocht)problemen geconstateerd die een gevolg zijn van het aanbrengen van de isolatie aan de binnenzijde van de gevel.

Tot slot geeft een van de bewoners aan dat hij het nieuwe energiesysteem complex vindt, zowel voor hemzelf als voor onderhoudsmedewerkers: zowel in het gebruik (verschillende apparaten op verschillende plekken, en met dikke handleidingen), als voor reparatie (niet altijd is duidelijk wat er aan de hand is), als voor de kostenverrekening.

6.6 Conclusie

Na-isolatie van de gevel van het woonhuis Kerkhof 34 in Zutphen is uitgevoerd in de vorm van een dampopen voorzetwand op basis van 90 mm minerale wol tussen houten stijlen en regels. Deze voorzetwand is geplaatst op 20 mm afstand van de binnenzijde van de bestaande steensmuur gevel. In beginsel is dit bouwfysisch een risicovolle constructie omdat er in de winter inwendige condensatie ontstaat op het binnenoppervlak van het metselwerk. Te verwachten is echter dat de hoeveelheid condensaat die in de winter in de constructie ontstaat in de zomer weer uit de constructie verdampt. Er zal daarom over de jaren heen waarschijnlijk geen vochtaccumulatie optreden. Echter, de hoeveelheid condensaat die eind maart in de constructie lijkt te ontstaan is hoger dan toegestaan voor bakstenen en veel hoger dan toegestaan voor hout. De houten stijlen van de voorzetwand zijn echter losgehouden van de baksteen via een 20 mm spouw en komen daarmee niet in direct contact met het vocht op het metselwerk. Houten balkkoppen in de gevels lopen echter een verhoogd risico op vochtproblemen. Deze constructie is daardoor risicovol voor vochtproblemen, schimmelgroei en houtrot. Er zijn momenteel echter geen vochtproblemen ten gevolge van de na-isolatie geconstateerd. Echter, omdat de voorzetwand niet verwijderd is, kon niet nagegaan worden wat de toestand was tussen het metselwerk en het isolatiemateriaal. Het optrekkend vocht verhoogd het risico op vochtproblemen en schimmelgroei in de laagste zone van de beganegrond.



7. Casus 5: Dat Bolwerck, Zaadmarkt 110-112, Zutphen

Adres: Zaadmarkt 110-112, 7201 DE Zutphen, Nederland

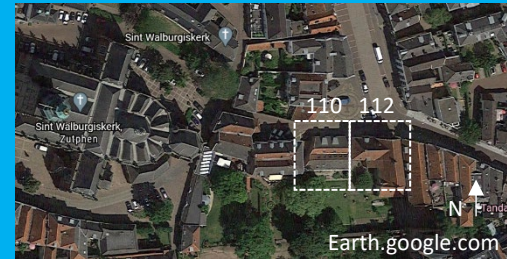
Monumentstatus: Rijksmonument

Transformatiejaar: nr. 112: 2013 – 2014; nr. 110: 2018-2019

Oorspronkelijke functie: woon-/werkhuis, later deels ook koetshuis

Huidige functie: kunst- en cultuurcentrum en bovenwoning

Website: <https://wijnhuisfonds.nl/>



7.1 Korte beschrijving

Op de plek waar oorspronkelijk de Dwangburcht stond, wordt vanaf 1549 in opdracht van Jorien Warinckhof een groot woonhuis gebouwd bestaande uit een voor- en achterhuis (Ambagtsheer, 2020). In de 17^e eeuw wordt er aan de marktzijde nog een zijvleugel en trappenhuis gebouwd waarna het als pakhuis in gebruik komt. Door de grote belasting op de vloeren zijn als gevolg de vloeren in deze tijd doorgezakt. Vervolgens wordt het pand in de 18^e eeuw een aantal keren gemoderniseerd waarbij eerst kruisvensters worden vervangen door schuiframen en later deze schuiframen empire vensters krijgen (Ambagtsheer, 2020). In de jaren '30 van de 20^e eeuw komt het pand in handen van het Wijnhuisfonds die het grondig laat restaureren en verbouwen tot openbare bibliotheek waarna het in 1983-1984 wederom wordt verbouwd tot een woning. Omdat het huis met een oppervlakte van 685 m² te groot werd voor een bewoner werd het in 2013-2014 omgebouwd tot kunst- en cultuurcentrum met een bovenwoning en verduurzaamd. In 2019 is ook het aangrenzende koetshuis grondig verbouwd en verduurzaamd.

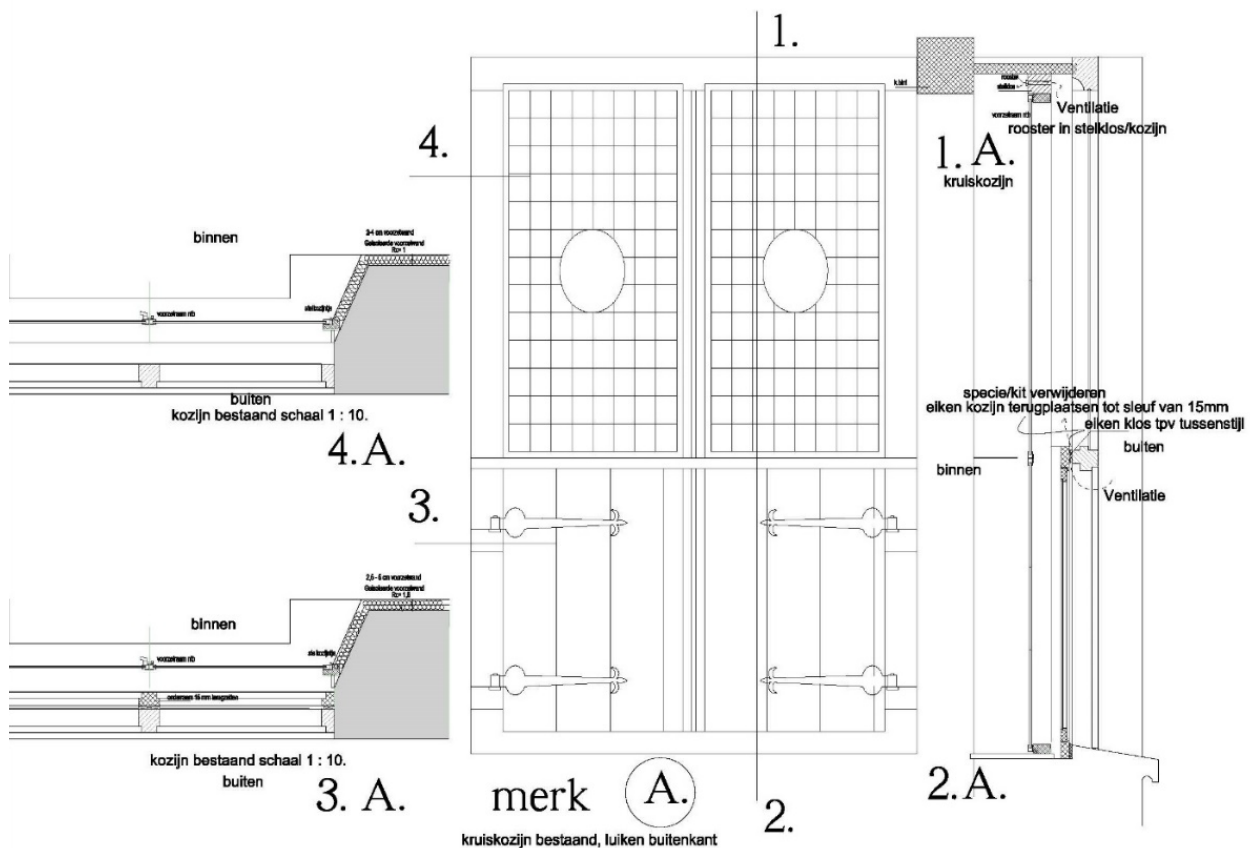
Voorafgaand aan de renovatie/restauratie van het pand zijn infrarood opnames gemaakt door EnergieAdvies Visser (2012). Op deze opnames waren duidelijke warmtelekken zichtbaar vaak bij aansluitingen tussen dak en gevel, tussen gevel en maaiveld en rondom kozijnen. Ook waren op sommige plekken warme radiatoren achter de gevel of een warme technische ruimte te zien.

7.2 Energetische transformatie

Duurzaamheid speelde een belangrijke rol bij de transformatie van het pand. Tevens bestond de wens om los te koppelen van het gasnet. Er zijn verschillende maatregelen getroffen ter verbetering van de energetische prestatie van het pand:

- Het pand is grotendeels voorzien van lagetemperatuurvloerverwarming bovenop de geïsoleerde beganegrondvloeren en geïntegreerd in nieuwe geluidisolerende dekvloeren voor de verdiepingvloeren. Het water voor de vloerverwarming wordt verwarmd door een kleine biomassa centrale op basis van houtpellets in de kelder.
- In het pand nr. 112 wordt in vrijwel alle ruimtes via Climarads verse lucht toegevoerd vanuit (en afgevoerd via) de gevel (figuur 7.2). Deze Climarads warmen tevens de binnenkomende verse lucht op via warmteterugwinning uit de (via de Climarads) afgevoerde lucht. Daarnaast vindt er mechanische afzuiging plaats in de keuken en badkamer.
- In het pand nr. 110 is een volledig mechanisch ventilatiesysteem aangebracht met toevoer van verse lucht op de begane grond en de verdieping en afzuiging op diverse plekken (figuur 7.3a/d). De toevoer en afvoer zijn aangesloten op een WTW unit in de kelder (figuur 7.3b). Roosters in de muren tussen de vertrekken zorgen voor doorstroming van de lucht indien de deuren dicht zijn (figuur 7.3e).
- Zowel in het pand nr. 110 als nr. 112 zijn de meeste vensters voorzien van achterzetramen met dubbelglas (HR++) op een afstand variërend van ca. 5 cm tot ca. 20 cm achter de bestaande ramen ten behoeve waarvan nieuwe stelkozijnen zijn aangebracht (figuur 7.1; figuur 7.4a/b, figuur 7.5a). De kozijnen en ramen zijn hersteld en opnieuw geleverd; en ook de glas-in-lood ramen zijn hersteld.
- De vensters die niet zijn voorzien van HR++ achterzetbeglazing zijn voorzien van Stolker monumentenglas (dubbelglas) (figuur 7.5b).

- De bestaande binnenluiken zijn hersteld en gangbaar gemaakt (figuur 7.5c). Dit geldt ook voor de schuiframen.
- De gevels van het pand zijn hersteld waarbij ook het voegwerk is hersteld.
- Bij nr. 112 is de metselwerkgevel aan de binnenzijde voorzien van ca. 40 mm Pavatex Pavadentro houtvezelisolatie direct tegen het metselwerk aan.
- De kap van nr. 112 is aan de buitenzijde bovenop het bestaande dakbeschot voorzien van 55 mm dikke PIR isolatieplaten met daarbovenop een waterdichte dampopen tyvek laag, met daar bovenop nieuwe tengels, panlatten en dakpannen (keramische OH-pannen). Tussen het bestaande dakbeschot en de PIR isolatie is een dampremmende laag aangebracht. Het gevolg van het dikker wordende dakpakket was dat een goot aan de achterkant moest worden verbreed en vernieuwd. De overige goten behoefden niet te worden aangepast.
- Bij nr. 110 is de metselwerkgevel aan de binnenzijde voorzien van een voorzetwand gevuld met cellulose isolatie (Homatherm). Het dak is geïsoleerd aan de buitenzijde aangevuld met cellulose isolatie aan de binnenzijde, met name ook voor geluid.
- Daarnaast is bij nr. 112 ook de geluidisolatie en brandwering van de vloeren verbeterd. Daartoe is bovenop de bestaande houten vloeren een nieuwe geluidisolierende dekvloer van Fermacell en underlayment aangebracht die steunt op tussenbinten 59x156 mm. De ontstane spouw bovenop de bestaande vloer (en onder de dekvloer) is voorzien van een laag steenwol 80-110 tussen de binten. Doordat de vloer daardoor hoger werd moesten diverse binnendeuren verhoogd worden. Op enkele andere plaatsen is als andere oplossing minerale wol aangebracht tussen de bestaande vloerbalken ter verbetering van de geluidisolatie. Gipskartonplaten als plafond zorgen voor voldoende brandwering.
- De keldervloer betreft een aan de onderzijde geïsoleerde vloer direct gefundeerd op zand.



Figuur 7.1 – Details van een van de ramen met achterzetbeglazing (en een stuk binnenisolatie op de gevel) afkomstig van de bouwtekeningen van de architect (Bureau voor Architectuur en Restauratie, ir. F.F. Ambagtsheer Architect). De ventilatie zoals aangegeven in deze tekening is niet op deze wijze uitgevoerd.



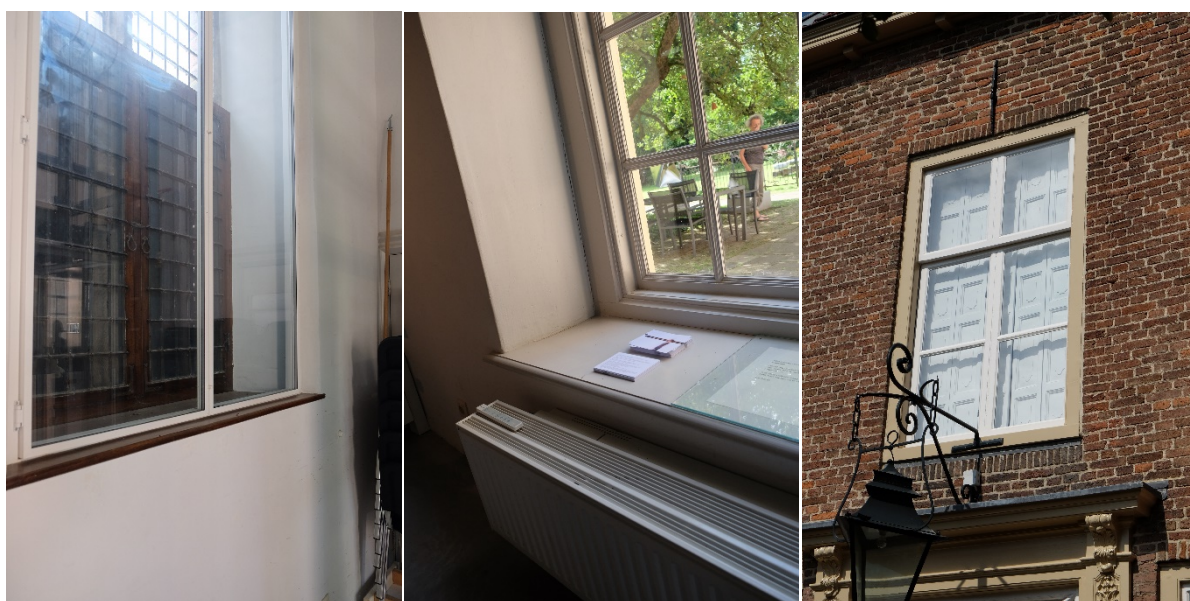
Figuur 7.2 – Climarad op begane grond nr. 112 (a) en bijbehorende sleuven in de lintvoegen van de gevel voor toetreding en/of afvoer van verse lucht (b).



Figuur 7.3 – Mechanisch ventilatiesysteem in het pand nr. 110: luchttoevoerzak (a); WTW unit in kelder (b); lucht toe- en afvoer LBK (c); luchttoevoerkanaal (d); rooster tussen twee vertrekken (e).



Figuur 7.4 – dubbelglas achterzetbeglazing nr. 110 (a en b) en buitenzijde ramen van nr. 110 (c).



Figuur 7.5 – dubbelglas achterzetbeglazing nr. 112 (a), geen achterzetbeglazing nabij de Climarads nr. 112 (b), binnenluiken bij nr. 112 (c).

7.3 Na-isolatie gevel

De buitenkant van het pand heeft monumentale waarde en mocht om die reden niet worden aangepast. De isolatie is daarom aan de binnenzijde aangebracht; wel zijn er op enkele plaatsen zichtbare sleuven aangebracht in de lintvoegen van de gevel ten behoeve van de Climarads. Voor het deel van het pand met nr. 112 (verbouwd in 2014/2015) en nr. 110 (verbouwd in 2019) zijn verschillende oplossingen gekozen.

Bij nr. 112 is het isolatiemateriaal direct tegen de binnenkant van het metselwerk aangebracht. Gekozen is hier voor een oplossing met ca. 40 mm Pavatex Pavadentro houtvezelisolatie, een isolatiemateriaal dat valt in de categorie van de dampopen capillair actieve isolatiematerialen. Deze plaat is met een leemlaag, die tevens als uitvlaklaag dient, 'vastgelijmd' aan het binnenoppervlak van het metselwerk. Deze plaat is verder afgewerkt met een dampopen kalkstuclaag en verf. Volgens de bouwtekeningen

bedraagt de toegevoegde R_c -waarde op sommige plekken $1.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ en op andere plekken $1.5 \text{ m}^2\text{K/W}$. Dampopen capillair actieve isolatiematerialen worden in principe gezien als een bouwfysisch veilige oplossing voor binnenisolatie. Echter, er is nog veel onzekerheid over welke typen wel en welke niet goed functioneren (Vereecken en Roels 2016). De maandelijkse Glaserberekening in tabel 7.1 toont dat er alleen in januari enige inwendige condensatie op kan treden maar dat dat condensaat al vrij snel weer verdwijnt. In de berekening is het capillair actieve gedrag van het Pavatex isolatiemateriaal niet meegenomen waardoor de werkelijkheid naar verwachting nog iets gunstiger uitpakt en er zelfs mogelijk in januari geen inwendige condensatie optreedt.

Bij nr. 110 is de metselwerkgevel aan de binnenzijde voorzien van een voorzetwand bestaande uit een gipskartonplaat en een houtplaat met daartussen een dampremmende laag (figuur 7.6). Deze afwerking is bevestigd op een houten (?) stijl- en regelwerk. De ontstane spouw is volledig gevuld met cellulose isolatie met een dikte van gemiddeld 15 cm. De toegevoegde R_c -waarde bedraagt ongeveer 3,8 a 3,9 $\text{m}^2\text{K/W}$. Dit is in theorie een veilige constructie. De aanwezigheid van een dampremmende laag zou in beginsel problemen van inwendige condensatie moeten voorkomen, mits deze laag niet doorbroken is. Dit blijkt ook uit de Glaserberekening zoals weergegeven in figuur 7.7.

Echter, doorbrekingen van de dampremmende laag bij nr. 110 door onder andere stopcontacten (figuur 7.8) kunnen ervoor zorgen dat er alsnog vocht en vochtige lucht achter de damprem terecht komt in de spouw. Daar kan deze vochtige lucht zich gemakkelijk verder verspreiden tot een plek waar de temperatuur lager is dan het dauwpunt met aldaar condensatie als gevolg (Stappers en Schellen, 2011). Of deze doorbrekingen lucht- en dampdicht zijn afgewerkt is bij het onderzoeksteam niet bekend.

Verder zijn er houten balken opgelegd in de gevel die in verband met vochtgehalte goed in de gaten gehouden dienen te worden (figuur 7.9 en 7.10). Tevens bevindt zich een stalen balk in de gevel die houten balken draagt. Deze vormt een koudebrug met een verhoogd risico op condensatie.

Tabel 7.1 – Maandelijkse Glaserberekening voor gevelopbouw met Pavatex binnenisolatie bij nr. 112 met in de laatste kolom de hoeveelheid achterblijvend condensaat.

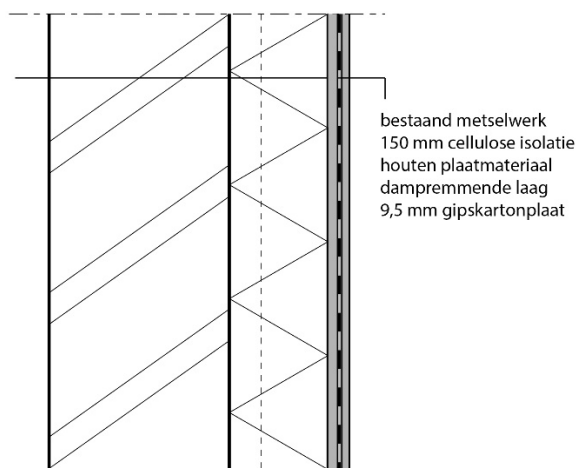
maand	uren	T_e [°C] ¹	RV_e [-] ¹	$p_{w,e}$ [Pa]	T_i [°C]	RV_i [-] ²	$p_{w,i}$ [Pa]	$G_{in/uit}$ [g/m ²] ³	G_{acc} [g/m ²] ⁴
januari	744	2,6	0,90	664	21,0	0,49	1233	31	31
februari	672	4,8	0,84	724	21,0	0,50	1234	-1194	0
maart	744	5,9	0,78	726	21,0	0,48	1206	-1283	0
april	720	9,3	0,74	869	21,0	0,50	1258	-1569	0
mei	744	14,7	0,75	1259	21,0	0,60	1501	-2044	0
juni	720	16,1	0,76	1395	21,0	0,64	1600	-1842	0
juli	744	18,1	0,79	1639	21,0	0,72	1791	-1881	0
augustus	744	18,5	0,81	1726	21,0	0,75	1867	-1917	0
september	720	15,6	0,83	1476	21,0	0,68	1694	-1644	0
oktober	744	10,4	0,86	1086	21,0	0,58	1446	-1249	0
november	720	8,0	0,89	955	21,0	0,55	1380	-1218	0
december	744	4,0	0,88	716	21,0	0,50	1248	-861	0

¹ Buitentemperaturen en luchtvochtigheden gebaseerd op tabel 17.1 uit NTA8800 en tabel A.1 uit NEN5060.

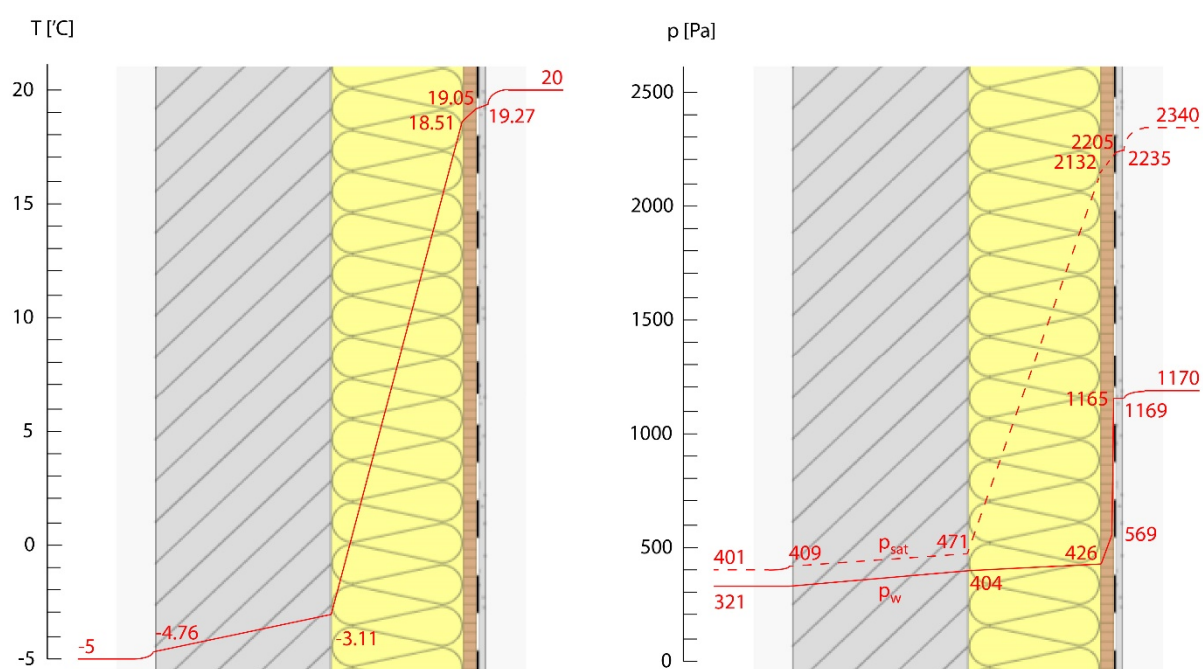
² Optredende luchtvochtigheid binnen gebaseerd op NEN-EN-ISO 13788 klasse 2.

³ + is netto condensatie; - is netto verdamping.

⁴ Geaccumuleerde hoeveelheid vocht in jan, feb, maart en april is inclusief accumulatie in laatste maanden jaar ervoor.



Figuur 7.6 – Doorsnede over een m² pakket van de gevel van het voormalige koetshuis (nr. 110).



Figuur 7.7 – Grafische weergave van een Glaserberekening van het gevelpakket na transformatie van het oorspronkelijke koetshuis (nr. 110) voor extreme wintercondities (buitentemperatuur -5°C; binnentemperatuur 20°C; relatieve luchtvochtigheid buiten 80%; relatieve luchtvochtigheid binnen 50%). Links: temperatuur door constructie; rechts: dampspanning door constructie.



Figuur 7.8 – stopcontacten bij nr. 110 die de dampremmende laag (mogelijk) doorbreken.



Figuur 7.9 – houten balk met decoratief sleutelstuk opgelegd in metselwerk (nr. 112).



Figuur 7.10 – houten balken opgelegd in een stalen balk in de metselwerk gevels bij nr. 110 (a) en kapconstructie die deels tussen isolatielaag zit.

Tot slot sluiten er geen steenachtige binnenwanden direct aan op de gevel. De binnenkant van het pand is volledig gestript en voorzien van nieuwe lichtgewicht binnenwanden. Problemen bij aansluitingen zijn er daarom op die plekken niet te verwachten.

7.4 Gemaakte afwegingen na-isolatie versus monumentale waarde

Omdat de buitenkant van het Bolwerck (nr. 112) en het bijbehorende koetshuis (nr. 110) monumentale waarde hebben is gekozen voor binnenisolatie als oplossing. Enige vorm van isolatie was noodzakelijk om het energiegebruik te verlagen en om gebruik te kunnen maken van lagetemperatuurvloer-verwarming. De keuze voor een voorzetwand op basis van Homatherm bij nr. 110 kwam voort uit het feit dat daarmee ook direct het dak op dezelfde wijze kon worden geïsoleerd.

Bij de vensters is zoveel mogelijk gekozen voor achterzetramen van dubbelglas. Daarmee wordt de isolatiewaarde verbeterd zonder dat de bestaande vensters en het bestaande glas veranderd hoefden te worden. Bij de overige ramen is het glas wel vervangen door Stolker monumentenglas. Bijvoorbeeld bij de schuiframen konden daardoor de ramen gangbaar gemaakt worden en in gebruik blijven.

7.5 Geconstateerde gebreken

Tijdens ons bezoek zijn er geen zichtbare gebreken ten gevolge van de na-isolatie geconstateerd. Voor bouwdeel nr. 110 is dat wellicht ook nog te vroeg omdat dit pas een jaar geleden is verbouwd. Ook bij bouwdeel nr. 112 zijn er bij de beheerder geen gebreken ten gevolge van de na-isolatie bekend. Monumentenwacht Gelderland houdt de situatie in de gaten door regelmatige inspectie, monitoring en meting van de houtvochtigheid van met name houten balkkoppen. Ook zij hebben tot nu toe geen problemen ten gevolge van de isolatie gezien en het houtvochtgehalte blijft binnen veilige grenzen.

Wel is er in de winter af en toe sprake van condensatie op het enkelglas voor de achterzetbeglazing. Dit treedt alleen op bij de vensters in de noordgevel en wordt veroorzaakt doordat de achterzetbeglazing niet volledig luchtdicht aansluit op de gevel.

7.6 Conclusie

Na-isolatie van de gevel van Dat Bolwerck (nr.112) in Zutphen is aan de binnenzijde uitgevoerd in de vorm van een dampopen capillair actief materiaal dat direct bevestigd is tegen de binnenzijde van de metselwerk gevel en afgewerkt is met een kalkstuc en dampopen verf. Theoretisch is dit bouwfysisch een goede opbouw. Echter, er is nog veel onduidelijkheid over de precieze werking van dergelijke isolatiematerialen en of alle materialen die capillair actief genoemd worden wel echt capillair actief zijn.

In elk geval zijn de afgelopen jaren hier door Monumentenwacht Gelderland geen vochtproblemen geconstateerd, ook niet bij de houten balkenkoppen die zich in het metselwerk bevinden.

Na-isolatie van het bijbehorende koetshuis (nr. 110) is aan de binnenzijde uitgevoerd op basis van een voorzetwand met cellulose isolatie vulling. De afwerking aan de binnenzijde is voorzien van een dampremmende folie. Ook dit is in beginsel bouwfysisch een juiste constructie omdat de damprem zou moeten voorkomen dat er inwendige condensatie optreedt achter de isolatieplaat. Echter, het gevaar is aanwezig dat door doorbreking van de damprem bijvoorbeeld bij de aanwezige stopcontacten alsnog vochtige lucht achter de dampremmende laag terechtkomt. Voor zover bekend zijn er geen vochtproblemen geconstateerd. Deze isolatie is echter pas een jaar geleden aangebracht waardoor het nog te vroeg is om hier daadwerkelijk iets over te kunnen zeggen. Datzelfde geldt voor de houten balkkoppen die zich in het metselwerk bevinden.



Vloer

8. Bevindingen en beperkingen van deze studie

8.1 Bevindingen

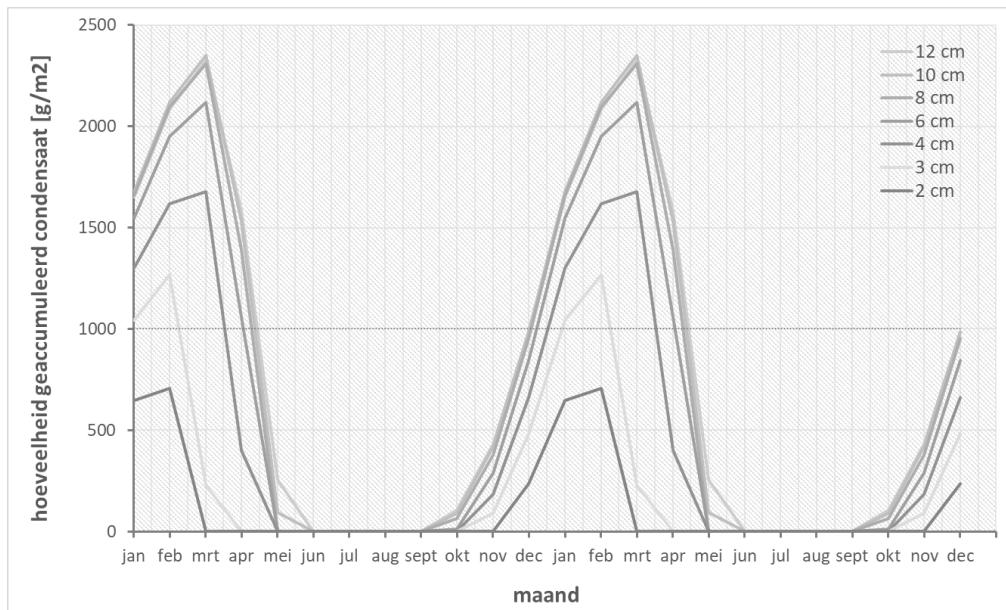
Vanwege de wens van veel monumenteigenaren en vanwege een noodzaak tot verduurzaming worden veel historische gebouwen (met metselwerk gevels) na-geïsoleerd. In beginsel kan isolatiemateriaal op drie verschillende posities ten opzichte het bestaande metselwerk worden aangebracht: aan de buitenkant, in een spouw of aan de binnenkant. Bij veel historische gebouwen is het aanbrengen van isolatie aan de buitenkant niet toegestaan of niet wenselijk. Bij veel oudere gebouwen, met name van voor de 20^{ste} eeuw, is tevens geen spouw aanwezig. Dit betekent dat veelal bij monumenten isolatie alleen aan de binnenkant kan worden aangebracht.

Binnengevelisolatie bestaat in diverse varianten waarbij vaak een onderscheid wordt gemaakt tussen traditionele dampopen isolatie zonder damprem, dampdichte isolatie of traditionele dampopen isolatie met damprem, en dampopen capillair actieve isolatie (zonder damprem). Niet alle gevels zijn geschikt om na-geïsoleerd te worden met binnengevelisolatie. In hoofdstuk 2 van dit rapport zijn enkele van de randvoorwaarden op basis van de literatuur opgesomd.

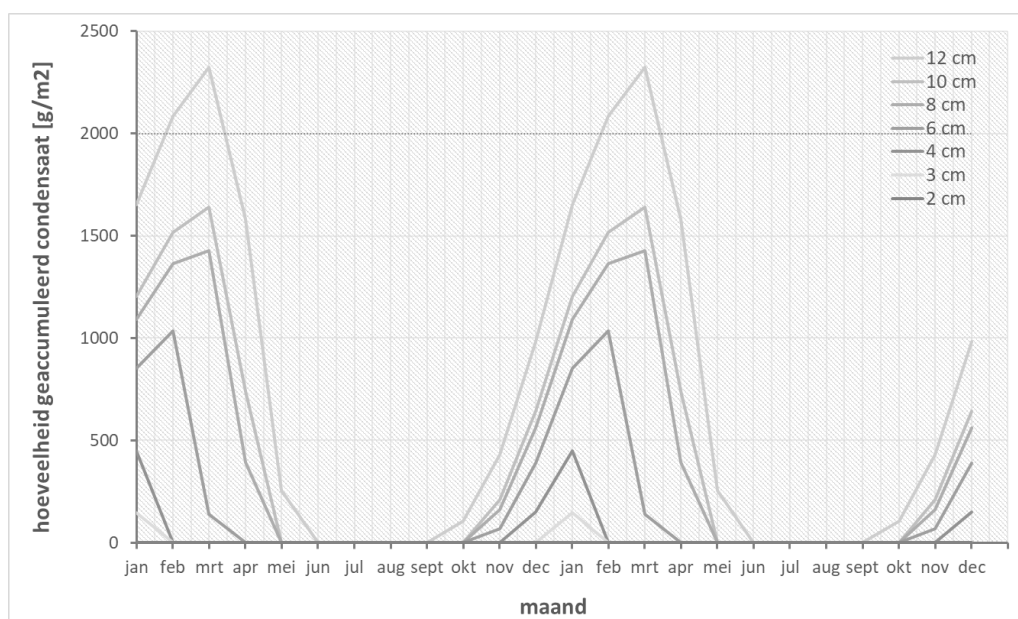
Traditionele dampopen isolatie zonder damprem

Vanuit de literatuur en vanuit zuiver bouwfysisch perspectief wordt dit type isolatie over het algemeen afgeraden. De achterliggende reden is dat door damptransport van binnen (vochtige omgeving) naar buiten (drogere omgeving) over het algemeen in de winter inwendige condensatie zal optreden op het grensvlak tussen het isolatiemateriaal en het metselwerk. Of dit daadwerkelijk problematisch is, hangt af van de hoeveelheid condensaat die hier ontstaat en of dat condensaat in de zomer ook weer uit de gevel weg diffundeert. Volgens DIN 4108-3: 2014 mag de hoeveelheid condensaat in de winter bij een steenachtige muur met niet vorstgevoelige bakstenen niet meer bedragen dan zo'n 1 kg/m² bij een dikte van het metselwerk van 200 mm en 2 kg/m² bij een dikte van het metselwerk van 400 mm. Indien zich hout bevindt direct in de vochtgevoelige zone dan mag de hoeveelheid condensaat niet meer bedragen dan zo'n 0,1 a 0,2 kg/m² om aantasting van het hout te voorkomen. Figuur 8.1 toont de resultaten van een maandelijkse Glaserberekening voor 200 mm metselwerk na-geïsoleerd aan de binnenzijde met minerale wol van verschillende dikte zonder damprem. Vanaf ongeveer 3 cm dikte aan minerale wol wordt de grenswaarde van 1 kg/m² overschreden. Indien hout aanwezig is in de vochtige zone dan zou bij deze dikte van metselwerk elke toevoeging aan traditionele dampopen isolatie te veel zijn. Figuur 8.2 toont de resultaten van een vergelijkbare berekening waarbij het historische metselwerk een dikte van 400 mm heeft. Bij deze dikte van het metselwerk geldt dat de grens van 2 kg/m² wordt overschreden bij een dikte van 110 mm minerale wol en de grens van 0,1 a 0,2 kg/m² bij een dikte van zo'n 3 cm minerale wol. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat een Glaserberekening een vereenvoudigde berekening is en niet gelijkwaardig is aan een volledig tijdsafhankelijke hygro-thermische simulatie (zie par. 8.2).

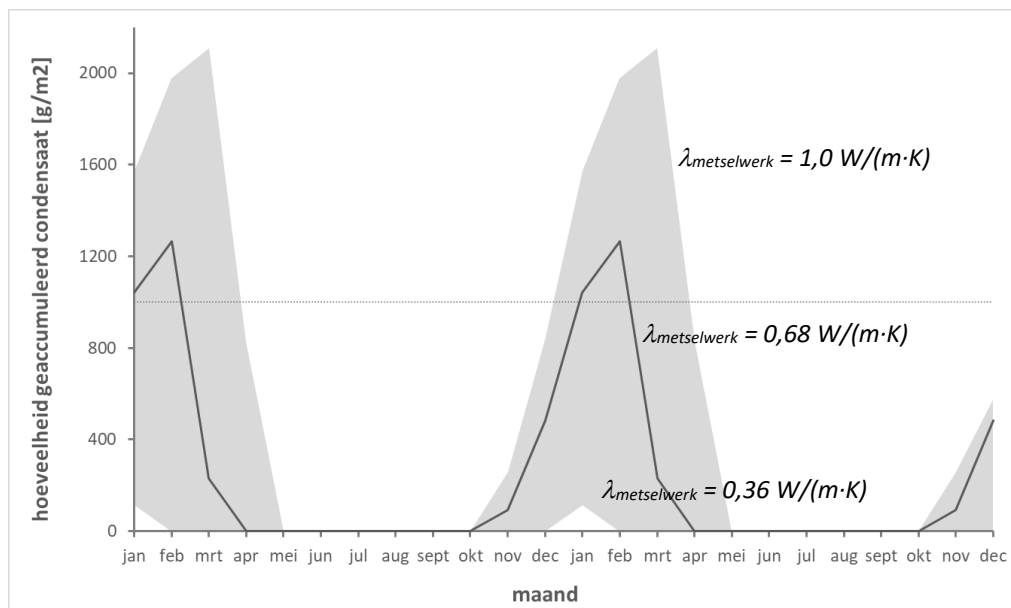
Om die reden is ook een eenvoudige gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om na te gaan hoe gevoelig de resultaten zijn voor de warmtegeleidingscoëfficiënt (figuur 8.3a) en dampdiffusieweerstandsgetal (figuur 8.3b) van het bestaande metselwerk. Voor de berekeningen in dit rapport is uitgegaan van een warmtegeleidingscoëfficiënt van het metselwerk van 0,68 W/(m·K) (lijn in figuur 8.3a). Indien echter de warmtegeleidingscoëfficiënt wordt verhoogd naar 1,0 W/(m·K) of verlaagd naar 0,36 W/(m·K) dan zal de hoeveelheid opgebouwde condensaat in de winter toenemen met zo'n 75% respectievelijk afnemen met zo'n 90%. Iets vergelijkbaars geldt voor het dampdiffusieweerstandsgetal van het metselwerk (figuur 8.3b). Standaard is uitgegaan van 7. Indien deze echter wordt verhoogd tot 10 of verlaagd tot 4, dan zal de hoeveelheid opgebouwde condensaat in de winter toenemen met zo'n 10% respectievelijk afnemen met zo'n 60%.



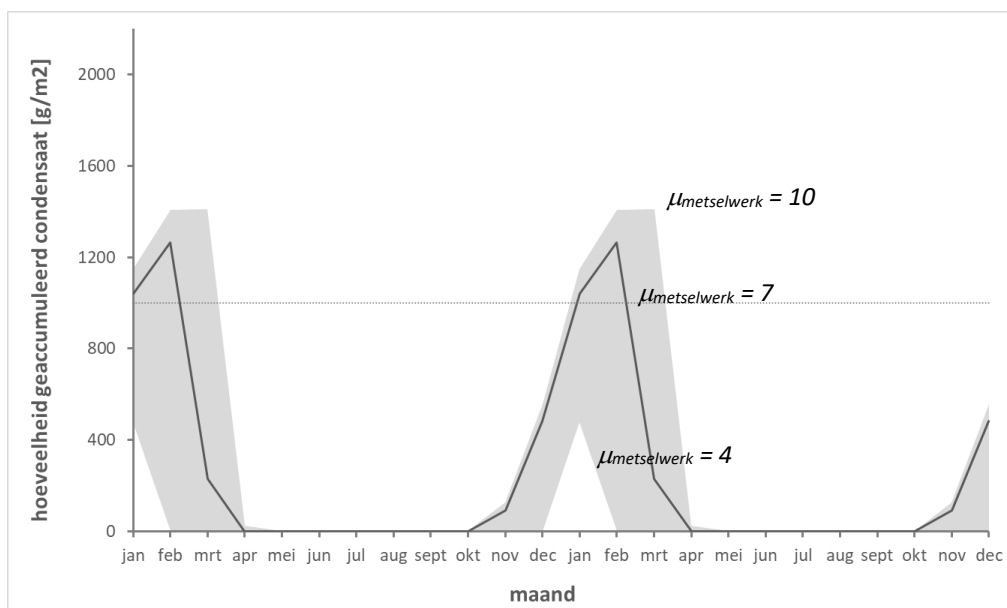
Figuur 8.1 – Optredende hoeveelheid condensaat tussen het isolatiemateriaal en het metselwerk gedurende het jaar voor verschillende diktes van een dampopen minerale wol isolatiemateriaal als binnengevelisolatie zonder damprem. De klimatologische uitgangspunten zijn overeenkomstig tabel 4.1. De opbouw van de gevel is als volgt van buiten naar binnen: **200 mm historisch metselwerk** ($\lambda = 0,68 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 7$); 20 mm ongeventileerde luchtpouw ($\lambda_{\text{eff}} = 0,11 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 1$); variabele dikte minerale wol ($\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 1$); 12.5 mm gipskartonplaat ($\lambda = 0,25 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 7$); 5 mm witpleister ($\lambda = 0,35 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 10$).



Figuur 8.2 – Optredende hoeveelheid condensaat tussen het isolatiemateriaal en het metselwerk gedurende het jaar voor verschillende diktes van een dampopen minerale wol isolatiemateriaal als binnengevelisolatie zonder damprem. De klimatologische uitgangspunten zijn overeenkomstig tabel 4.1. De opbouw van de gevel is als volgt van buiten naar binnen: **400 mm historisch metselwerk** ($\lambda = 0,68 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 7$); 20 mm ongeventileerde luchtpouw ($\lambda_{\text{eff}} = 0,11 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 1$); variabele dikte minerale wol ($\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 1$); 12.5 mm gipskartonplaat ($\lambda = 0,25 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 7$); 5 mm witpleister ($\lambda = 0,35 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\mu = 10$).



Figuur 8.3a – Gevoeligheidsanalyse voor warmtegeleidingscoëfficiënt metselwerk: Optredende hoeveelheid condensaat tussen het isolatiemateriaal en het metselwerk gedurende het jaar voor 3 cm dik dampopen minerale wol isolatiemateriaal als binnengevelisolatie zonder damprem. De klimatologische uitgangspunten zijn overeenkomstig tabel 4.1. De opbouw van de gevel is als volgt van buiten naar binnen: **200 mm historisch metselwerk** (λ varieert; $\mu = 7$); 20 mm ongeventileerde luchtspouw ($\lambda_{\text{eff}} = 0,11 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; $\mu = 1$); 30 mm minerale wol ($\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; $\mu = 1$); 12.5 mm gipskartonplaat ($\lambda = 0,25 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; $\mu = 7$); 5 mm witpleister ($\lambda = 0,35 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; $\mu = 10$).



Figuur 8.3b – Gevoeligheidsanalyse voor dampdiffusieweerstandsgetal metselwerk: Optredende hoeveelheid condensaat tussen het isolatiemateriaal en het metselwerk gedurende het jaar voor 3 cm dik dampopen minerale wol isolatiemateriaal als binnengevelisolatie zonder damprem. De klimatologische uitgangspunten zijn overeenkomstig tabel 4.1. De opbouw van de gevel is als volgt van buiten naar binnen: **200 mm historisch metselwerk** ($\lambda = 0,68 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; μ varieert); 20 mm ongeventileerde luchtspouw ($\lambda_{\text{eff}} = 0,11 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; $\mu = 1$); 30 mm minerale wol ($\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; $\mu = 1$); 12.5 mm gipskartonplaat ($\lambda = 0,25 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; $\mu = 7$); 5 mm witpleister ($\lambda = 0,35 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; $\mu = 10$).

Bij twee van de onderzochte casussen was een traditionele dampopen minerale wol isolatie zonder damprem aanwezig, het Polderhuis in Zevenaar en de woning aan het Kerkhof 34 in Zutphen. De gedachte om dampopen te isoleren was dat of een mechanisch ventilatiesysteem de lucht binnen voldoende drooghoudt en/of dat de vochtproductie binnen laag is. Tevens zouden stopcontacten en balkkoppen de dampremmende laag hebben doorbroken waardoor de keuze was gemaakt om deze dampremmende laag niet aan te brengen, mede omdat deze erg kwetsbaar is en gevoelig is voor uitvoeringsfouten. Voor zover bekend geworden tijdens het onderzoek zijn er momenteel geen vochtproblemen ten gevolge van het aanbrengen van het isolatiemateriaal.

Traditionele dampopen isolatie met damprem of dampdichte isolatie

Vanuit de literatuur en vanuit bouwfysisch oogpunt wordt deze oplossing vocht-technisch als een goede oplossing beschouwd. Door de dampremmende laag aan de warme zijde van de isolatie zal dampdiffusie worden tegengegaan waardoor inwendige condensatie met alle bijbehorende vochtproblemen wordt voorkomen. Echter, de dampremmende laag is wel kwetsbaar en gevoelig voor uitvoeringsfouten zoals het niet lucht- en dampdicht afsluiten van gaten die zijn gemaakt ten behoeve van stopcontacten en doorvoeren. Ook nabij houten balkkoppen opgelegd in de metselwerk gevel kan de aansluiting onvoldoende zijn en kan mogelijk vocht ophopen en niet verdwijnen. Tevens dienen bij dampdichte isolatie de naden tussen de isolatieplaten goed lucht- en dampdicht afgedicht te worden. Indien de dampremmende laag om welke reden dan ook doorbroken is en een lucht- en damplek vertoont, dan kan vochtige lucht achter de damprem komen en aldaar op een koude plaats condensereren. Door de aanwezigheid van de dampremmende laag kan dit vocht in de zomer ook weer lastiger naar binnen diffunderen en daardoor vochtproblemen geven.

Bij twee van de onderzochte casussen was een dampdichte vorm van na-isolatie aanwezig, De IJsselstroom in Zutphen (PIR isolatie) en het voormalige koetshuis als onderdeel van Dat Bolwerck in Zutphen (cellulose isolatie met damprem). Bij beide projecten waren stopcontacten aanwezig die de dampremmende laag doorbraken, en waren er houten balken opgelegd in het metselwerk. In hoeverre deze ook lucht- en dampdicht afgesloten waren, kon niet worden nagegaan. Bij De IJsselstroom in elk geval was PUR schuim gebruikt rondom de stopcontacten om deze af te dichten. Voor zover bekend geworden tijdens het onderzoek zijn er momenteel geen vochtproblemen ten gevolge van het aanbrengen van het isolatiemateriaal.

Dampopen capillair actieve isolatie (zonder damprem)

Vanuit de literatuur en vanuit bouwfysisch oogpunt wordt dampopen capillair actieve isolatie gezien als een goede oplossing. Bij gebruik van dit materiaal bestaat er wel een risico op inwendige condensatie in de winter, vergelijkbaar aan de traditionele dampopen isolatie, maar door het capillaire gedrag van het materiaal kan het vocht zich herverdelen over het isolatiemateriaal waardoor het risico op vochtproblemen wordt verkleind. Tevens is het materiaal dampopen waardoor het vochtgedrag van het oorspronkelijke metselwerk slechts in beperkte mate wordt veranderd. Omdat dit relatief nieuwe materiaaltoepassingen zijn, is er nog weinig bekend over hoe op deze wijze na-geïsoleerd historisch metselwerk zich hygro-thermisch op lange termijn zal gedragen. Tevens zit er veel verschil in de mate van capillair gedrag tussen de diverse capillair actieve materialen, en niet alle materialen zullen in de praktijk even geschikt blijken te zijn. Meer lange termijn onderzoek is nodig om hier een goed beeld bij te krijgen. Verder is het van belang dat het materiaal direct tegen het metselwerk wordt aangebracht waardoor luchtsponwen achter het materiaal worden voorkomen.

Bij twee van de onderzochte casussen was dampopen capillair actief isolatiemateriaal (houtvezelplaat) toegepast, Het oostelijk bouwhuis bij kasteel Middachten en Dat Bolwerck in Zutphen. Op basis van een eenvoudige maandelijkse Glaserberekening zijn bij beide projecten vocht-technisch geen problemen te verwachten ten gevolge van het aangebrachte isolatiemateriaal; het capillaire gedrag van het isolatiemateriaal kan overigens niet meegenomen worden in een dergelijke vereenvoudigde berekening (zie par. 8.2). Beide projecten worden ook jaarlijks geïnspecteerd door MonumentenWacht Gelderland die tot nu toe geen gebreken heeft geconstateerd. Ook door het onderzoeksteam zijn geen gebreken geconstateerd ten gevolge van het aanbrengen van het isolatiemateriaal.

8.2 Beperkingen van deze studie

Bij het interpreteren van de resultaten is het van belang om daarbij de volgende beperkingen van deze studie in de gaten te houden:

- Vanwege de aard van dit onderzoek was het niet mogelijk om destructief onderzoek toe te passen, door bijvoorbeeld een deel van het isolatiemateriaal te verwijderen of door een gat te boren en met een camera het isolatiemateriaal en de achterliggende spouw te inspecteren. Dit betekent dat het onderzoeksteam niet de mogelijkheid had om achter het isolatiemateriaal te kijken. Het was daardoor niet mogelijk om de daadwerkelijke toestand van het isolatiemateriaal en eventueel vocht hierachter te zien.
- De maandelijkse Glaserberekeningen die in een aantal gevallen uitgevoerd zijn ter ondersteuning van het onderzoek geven een vereenvoudigde weergave van het hygro-thermische gedrag van de gevel. Deze vereenvoudigingen hebben betrekking op het stationaire karakter van een dergelijke berekening en het niet meenemen van capillair gedrag van het isolatiemateriaal. Voorts is gebruik gemaakt van materiaaleigenschappen uit de literatuur die niet exact gelijk hoeven te zijn aan de werkelijke materiaaleigenschappen.
- Bij enkele van de onderzochte projecten was de na-isolatie vrij recent pas aangebracht, bijv. bij het voormalige koetshuis als onderdeel van Dat Bolwerck. Dit betekent dat het voor die gevallen nog te vroeg is om vocht-technische gebreken te constateren. Deze manifesteren zich vaak pas na meerdere jaren.

9. Conclusie

Vanwege de wens van veel monumenteneigenaren en vanwege een noodzaak tot verduurzaming worden veel historische gebouwen (met metselwerk gevels) na-geïsoleerd. Omdat de buitenkant van het pand vaak van monumentale waarde is, wordt in veel gevallen gekozen voor na-isolatie aan de binnenkant van de gevel. Omdat er (in de praktijk) nog veel onduidelijkheid is over welke isolatie-oplossingen wel en welke niet bouwfysisch geschikt zijn voor historische gebouwen is dit onderzoek opgezet om licht te werpen op de volgende twee vragen:

- Op welke wijze kan bij (woonhuis)monumenten met massieve bakstenen gevels in Nederland aan de binnenkant van de gevel worden na-geïsoleerd zodanig dat het risico op vochtproblemen wordt beperkt?
- Welke afwegingen worden in de praktijk gemaakt bij na-isolatie van (woonhuis)monumenten met massieve bakstenen gevels in Nederland tussen verbetering thermische prestatie van de gevel enerzijds en behoud monumentale waarde anderzijds?

Omdat dit onderzoek plaatsvond in het kader van het KaDEr onderzoeksprogramma in opdracht van de provincie Gelderland, bevonden zich de te onderzoeken objecten in de provincie Gelderland. De volgende vijf casussen zijn tijdens dit onderzoek onderzocht:

- De IJsselstroom, Zutphen
- Het Polderhuis, Landgoed Sevenaer, Zevenaar
- Oostelijk bouwhuis, kasteel Middachten, De Steeg
- Woning, Kerkhof 34, Zutphen
- Dat Bolwerck (incl. voormalig koetshuis), Zaadmarkt 110-112, Zutphen

Het onderzoek is uitgevoerd op basis van literatuurstudie en bestudering van de bouwtekeningen, bezoek aan het gebouw met visuele inspectie en IR fotografie (alleen in november 2019), interviews met gebruikers/architecten/beheerders, en aanvullende maandelijkse Glaserberekeningen.

De vijf onderzochte casussen hadden een variatie aan typen binnenisolatie: traditionele dampopen isolatie zonder damprem, dampdichte isolatie of traditionele dampopen isolatie met damprem, en dampopen capillair actieve isolatie (zonder damprem). Bij geen van de onderzochte objecten zijn vocht-technische gebreken geconstateerd die gerelateerd zijn aan het aanbrengen van na-isolatie aan de binnenzijde. Op basis van de theorie had het onderzoeksteam voorafgaande aan dit onderzoek wel mogelijke problemen verwacht bij de dampopen isolatiematerialen zonder damprem en bij doorbrekingen van de dampremmende laag (stopcontacten en dergelijke) in geval van isolatiematerialen met damprem. Een belangrijke opmerking hierbij is wel dat het onderzoeksteam niet achter het isolatiemateriaal heeft kunnen kijken en de houten balkkoppen in het metselwerk niet van dichtbij heeft kunnen bestuderen of kunnen bemeten. Verder waren sommige isolatiemaatregelen pas recent aangebracht zoals bij het Koesthuis bij Dat Bolwerck in Zutphen waardoor het nog te vroeg is om eventuele gebreken te kunnen constateren. Het is daarom aan te bevelen om over vijf en tien jaar dit onderzoek nogmaals te herhalen in de periode januari-maart en dan tevens achter het isolatiemateriaal te kijken. Naast de in dit onderzoek onderzochte gebouwen kunnen dan eventueel ook andere historische gebouwen meegenomen worden waarvan energiescans zijn gemaakt.

Verder waren bij sommige vensters bij vrijwel alle casussen gebreken zichtbaar als gevolg van vocht, zoals vochtplekken. Deze gebreken waren veelal een gevolg van oppervlaktecondensatie van vocht op het glas in de wintermaanden of van water-/regendoorslag door naden en kieren bij de kozijnen. Ook op enkele plekken waren losse tochtbanden, losse kit of schade aan schilderwerk/houtwerk zichtbaar. Om vervolg schade te voorkomen wordt geadviseerd om periodiek een controle hierop uit te voeren en eventuele gebreken direct te herstellen.

Omdat er nog veel onduidelijkheid heerst over welke isolatie-oplossingen en welke aanpak voor de verduurzaming van monumenten het beste is, is het van belang om monumenten waarbij na-isolatie is toegepast te blijven volgen en te blijven monitoren. Dit kan door een systematische analyse van de visuele inspecties van Monumentenwacht, maar bij voorkeur in het geval van belangrijke monumenten ook via monitoring met behulp van sensoren van temperaturen en vochtgehaltes tussen het isolatiemateriaal, het binnenoppervlak van het metselwerk en in en nabij houten balkkoppen. Voorts is het van belang om de hiermee opgebouwde kennis te (blijven) delen om de verduurzaming van monumenten verder te helpen en om te voorkomen dat er in de toekomst schade ontstaat die moeilijk te herstellen is.

10. Bronnen

- Ambagtsheer, F. (2020, 14 februari), Zutphen, Dat Bolwerck, [online], <http://www.fransambagtsheer.nl/cms/portfolio-view/zutphen_zaadmarkt_bolwerck/>.
- Binz, A., A. Moosmann, G. Steinke, U. Schonhardt, F. Fregnan, H. Simmler, S. Brunner, K. Ghazi, R. Bundi, U. Heinemann, H. Schwab, J.J.M. Cauberg, M.J. Tenpierik, G.A. Johannesson, T.I. Thorsell, M. Erb and B. Nussbaumer (2005), *Vacuum Insulation in the Building Sector. Systems and Applications. Subtask B*, Final report for IEA ECBCS Annex 39 HiPTI, 111 pages.
- EnergieAdvies Visser (2012), *Infraroodfoto's, Bolwerk Zutphen*, rapport, 3-5-2012.
- Fritz-von Preuschen, M., Klawun, R., Ludwar, J., Roggenbuck-Azad, U., Rüscher, E., Schüfer, S. en Schreiber, R. (2017), *Holzfenster im Baudenkmal. Hinweise zum denkmalgerechten Umgang*, Arbeitshefte der VDL, Arbeitsgruppe Bautechnik, Wiesbaden: Vereinigung der Landesdenkmalpfleger.
- Groot, C. en Gunneweg, J. (2012), "Vochtabsorptie en droging in massief metselwerk", In: Hunen, M. van et al., *Historisch metselwerk. Instandhouding, herstel en conservering*, Zwolle: W-Books / RCE, p 151-159.
- Hacquebord, A. (2012), "Bestrijding van optrekkend vocht", In: Hunen, M. van et al., *Historisch metselwerk. Instandhouding, herstel en conservering*, Zwolle: W-Books / RCE, p 253-261.
- Hees, R. van en Lubelli, B. (2012), "Schade door vocht, vorst en zouten", In: Hunen, M. van et al., *Historisch metselwerk. Instandhouding, herstel en conservering*, Zwolle: W-Books / RCE, p 141-149.
- Hens, H. (2012), *Applied Building Physics: Boundary Conditions, Building Performance and Material Properties*, Berlijn: Ernst und Sohn.
- Hermans, T. (2011), "Venster dicht!", In: Ven, H. van de (red.), *Duurzaam Erfgoed. Duurzaamheid, energiebesparing en monumenten*, Amersfoort: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, p 164-171.
- Jenkins, M. (2011), "Binnenisolatie van traditionele gebouwen", In: Ven, H. van de (red.), *Duurzaam Erfgoed. Duurzaamheid, energiebesparing en monumenten*, Amersfoort: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, p 196-203.
- Kivit, M.A.J. (2013), *Haalbaarheidsstudie. Energieopwekking en –besparing landgoed Sevenaer, 's Hertogenbosch: Erfgoed Installaties*.
- Koolhof, H., Leeuwen, M. van, Schepers, L. en Veldhoven, S. van (2014), *De IJsselstroom. Van stoomwasserij tot duurzaam monument*, Dieren: Diepenmaat Uitgeverij & Ontwerpbureau.
- Krijnen, J. (2009), "Bouwhistorisch onderzoek in 2008", In: *Zutphen Monumentaal* nr. 18, juni 2009, p. 10-15.
- Linden, A.C. van der, Kuipers-van Gaalen, I.M. en Zeegers, A. (2016), *Bouwfysica*, 7^{de} druk, Amersfoort: Thieme-Meulenhof.
- Linden, A.C. van der, Kuipers-van Gaalen, I.M. en Zeegers, A. (2017), *Bouwfysica*, 8^{ste} druk, Amersfoort: Thieme-Meulenhof.
- Lubelli, B., Hees, R. van en Nijland, T. (2012), "Oppervlaktebehandeling van historisch metselwerk", In: Hunen, M. van et al., *Historisch metselwerk. Instandhouding, herstel en conservering*, Zwolle: W-Books / RCE, p 237-251.
- Nusselder, E.J., Ven, H. van de, Haas, M. en Dulski, B. (2008), *Handboek Duurzame Monumentenzorg. Theorie en praktijk van duurzaam monumentenbeheer*, Rotterdam: SBR / Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten / VROM Rijksgebouwendienst.
- Nusselder, E.J. en Zandijk, C.B. (2014), *Advies instandhouding en duurzame herbestemming conform methode DuMo*, Adviesrapport, Den Haag: Monumentenzorg en DWA.
- Omroep Gelderland, (2014, June 25), *De IJsselstroom*, [Video, online], <https://www.youtube.com/watch?v=0m_1uMw9wDA&t=677s>.
- Ravesloot, C.M. (2015), *Dampopen bouwen doe je zo. Vertaling van dertig jaar praktijkervaring*, Delft: SBRCurnet.
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (2019), *Isolatie van historische gebouwen. Technische achtergronden*, groene gids, 35 pagina's.

- Rijksmonumenten.nl, (2014, 12 november), Landgoed Middachten: oostelijk bouwhuis in De Steeg, [online], <<http://rijksmonumenten.nl/monument/515230/landgoed-middachten:-oostelijk-bouwhuis/de-steeg/>>.
- Stapper, M. en Schellen, H. (2011), "Na-isoleren van historische gebouwen", In: Ven, H. van de (red.), *Duurzaam Erfgoed. Duurzaamheid, energiebesparing en monumenten*, Amersfoort: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, p 108-119.
- Stenvert, R. (2008), *Wasserij de IJsselstroom, Vliegendijk 16, Zutphen, Bouwhistorische verkenning en waardestelling*, Utrecht: Bureau voor Bouwhistorie en Architectuurgeschiedenis.
- Storms-Smeets, E. (2015), "Duurzaamheid zit vooral in de generaties", *Beeldspraak*: 16-17.
- Tenpierik, M.J. (2010), *Vacuum Insulation Panels Applied in Building Constructions*, PhD dissertation, Delft University of Technology, Delft.
- Vereecken, E. en Roels, S. (2016), "Capillary active interior insulation systems for wall retrofitting: a more nuanced story", *International Journal of Architectural Heritage* 10(5): 558-569.
- Wieringen, J.T. van (2011), "Minder energie, kleine moeite", In: Ven, H. van de (red.), *Duurzaam Erfgoed. Duurzaamheid, energiebesparing en monumenten*, Amersfoort: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, p 22-31.
- Wit, M.H. de (2008), *Heat and Moisture in Building Envelopes*, collegedictaat, Eindhoven: TU Eindhoven.
- Wood, C. (2011), "Vensterisolatie opnieuw uitgevonden", In: Ven, H. van de (red.), *Duurzaam Erfgoed. Duurzaamheid, energiebesparing en monumenten*, Amersfoort: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, p 32-43.
- Wood, C., Bordass, B. en Baker, P. (2009), *Research into the thermal performance of traditional windows: timber sash windows*, research report 109/2009, English Heritage, [online], <<https://research.historicengland.org.uk/Report.aspx?i=16035>>.