



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

Praktijkonderzoek na-isolatie woonhuis- monumenten

*Onderzoek naar de bouwfysische effecten van
het isoleren van woonhuismonumenten in
14 Nederlandse casussen*

Colofon

Auteurs: Felix Kusters (Stichting ERM), Edgar Neuhaus (Ingenieursbureau Physitec),
Marc Stappers (RCE)

Datum: 31 oktober 2025

Opdrachtgever: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE)
Smallepad 5
3811 MG Amersfoort

© Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort 2026

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Postbus 1600
3800 BP Amersfoort
www.cultureelerfgoed.nl

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding van het onderzoek	6
1.2 Doelstelling	6
1.3 Uitvoering onderzoek	6
2 Projectplan	7
2.1 Onderzoeksopzet	7
2.2 Beschrijving van de uitgevoerde metingen	9
3 Achtergrond en theorie	10
3.1 Klimaatdoelstellingen	10
3.2 Na-isolatie	10
3.3 Bouwfysische achtergrond	12
3.4 Isolatiesystemen	21
3.5 Materialen	23
3.6 Toepassing in woonhuismonumenten	24
3.7 Systeemopbouw	25
4 Overzicht van de casussen	27
4.1 Locaties	27
4.2 Toegepaste isolatiemethodiek	28
5 Resultaten van het onderzoek op locatie	31
5.1 Casus 1	31
5.2 Casus 2	36
5.3 Casus 3	39
5.4 Casus 4	46
5.5 Casus 5	53
5.6 Casus 6	60
5.7 Casus 7	65
5.8 Casus 8	71
5.9 Casus 9	74
5.10 Casus 10	77
5.11 Casus 11	81
5.12 Casus 12	84
5.13 Casus 13	87
5.14 Casus 14	89
5.15 Totaaloverzicht metingen en resultaten	94
6 Bevindingen en aanbevelingen	96
6.1 Bevindingen	96
6.2 Aanbevelingen	97
Bijlage A: Checklists	99
Bijlage B: Omgangsprotocol monumenteneigenaren	103
Bijlage C: Opnamelijsten casussen	105
Begrippenlijst	142

In opdracht van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) is door Stichting Erkende Restauratiekwaliteit Monumentenzorg (ERM) een vooronderzoek uitgevoerd gericht op de bouwfysische effecten van het na-isoleren van woonhuismonumenten. Het vooronderzoek richt zich op na-isolatie aan de binnenzijde van de gevel en dak. Vanuit de theorie is namelijk bekend dat vooral aan de binnenzijde bepaalde isolatiemethoden mogelijk risicovol zijn. Zo kan het ontstaan van inwendige condensatie leiden tot aantasting van erfgoedwaarden, bijvoorbeeld doordat houten constructiedelen gaan rotten. Het onderzoeksdoel is het verkrijgen van inzicht op basis van casestudies, waarmee bepaald kan worden of en welke problematieken omtrent na-isolatie¹ zich kunnen voordoen.

Tijdens de inventarisatiefase zijn circa vijftig organisaties en particuliere eigenaren van woonhuismonumenten benaderd voor medewerking aan dit onderzoek. Daarna zijn achtentwintig voor het onderzoek potentieel interessante woonhuismonumenten - verspreid over Nederland - aan een vooronderzoek onderworpen. Hierbij zijn de panden bezocht, om onder andere middels een gesprek met de gebruiker en met behulp van infraroodthermografie te toetsen of het pand interessant is voor nader onderzoek. Uiteindelijk zijn veertien panden geselecteerd voor deelname aan het onderzoek. Tijdens dat onderzoek is de gebouwschil op één of meerdere posities opengemaakt. Vervolgens is de precieze constructieopbouw in kaart gebracht, is visueel onderzocht of bijvoorbeeld schimmelgroei, leksporen of verkleuring als gevolg van vocht aanwezig is en zijn indicatieve materiaalvochtmetingen uitgevoerd. De materiaalvochtmetingen zijn uitgevoerd ter plaatse van de aanwezige houten constructiedelen. Deze geven een indicatie van het al dan niet optreden van (langdurig) hoge vochtigheden in de gebouwschil.

In het rapport zijn per casus de bevindingen beschreven. In die situaties waar vanuit de theorie gezien vochtproblemen verwacht mochten worden, bleken deze in de praktijk niet altijd op te treden. Behoudens één casus zijn geen aanwijzingen gevonden die duiden op een langdurig te hoog vochtgehalte van de gebouwconstructies, zoals houtrot en schimmels. Belangrijk om hierbij te vermelden is dat de gebouwschil per casus slechts op een beperkt aantal posities onderzocht is. Het is derhalve mogelijk dat op andere posities - bijvoorbeeld bij niet onderzochte balkkoppen en thermische bruggen - wel vochtproblemen aanwezig zijn.

Naar aanleiding van de resultaten van het praktijkonderzoek is middels thermo-hygrische berekeningen inzichtelijk gemaakt waarom er bij de onderzochte constructies geen vochtschade is ontstaan in de voorgaande periode. In aanvulling hierop is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzichtelijk te maken bij welke klimatologische omstandigheden er wel schade zou kunnen ontstaan. Zodoende kan beter worden voorspeld bij welke condities de betreffende isolatiemaatregelen al dan niet toepasbaar zijn.

Vanwege het openmaken van de constructies geeft het onderzoek een unieke inkijk in de bouwfysische toestand van de isolatieconstructies van enkele na-geïsoleerde woonhuismonumenten. Het geeft een indicatieve afspiegeling van de praktijk, waaruit echter geen harde conclusies getrokken kunnen worden voor de totale bouwvoorraad. Dit onder meer vanwege de beperkte steekproef, de statische meetmethodiek (in plaats van metingen over langere periode) en het feit dat aansluitdetails niet specifiek zijn onderzocht. In dit kader moet ook de substantiële invloed van gebruiksintensiteit en binnenklimaatcondities op inwendige vochtbelasting genoemd worden. Indien deze in de toekomst wijzigen kan dit consequenties hebben voor de vochthuishouding. Dit zou dan in die nieuwe situatie mogelijk wel kunnen leiden tot bouwfysische problemen. De onderzoeksresultaten zijn derhalve slechts indicatief voor de specifieke groep woonhuismonumenten die zijn onderzocht in hun huidige gebruikssituatie.

Vanwege de opgedane ervaringen vormt het onderzoek een goed vertrekpunt voor de inkadering van een vervolgonderzoek. Dat onderzoek zou zich dan met name kunnen richten op na-geïsoleerde woonhuismonumenten met vochtproblemen, alsmede op isolatieconstructies die aan een hoge interne vochtbelasting worden blootgesteld. De aandacht zou vooral gericht moeten zijn op kritische aansluitdetails met verhoogd risico op vochtproblemen. Voor een beter inzicht dienen de materiaaleigenschappen specifiek in beeld te worden gebracht, alsmede bouwfouten en -gebreken. Het verdient aanbeveling om dit onderzoek op basis van dynamische metingen over een langere periode uit te voeren.

¹ Voor de omschrijving wordt verwezen naar de begrippenlijst achterin dit rapport.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding van het onderzoek

In de praktijk is er behoefte aan heldere richtlijnen voor het verduurzamen van monumenten. Vaak zijn er verschillen in inzichten, terwijl we zeker willen zijn van de resultaten van verschillende toepassingen van isolatie bij daken en gevels. Zeker ook omdat het verduurzamen van monumenten de komende jaren flink toeneemt, mede door de afspraken uit de Routekaart Verduurzaming Monumenten². Verkeerde keuzes kunnen op termijn tot schade leiden en daarmee kunnen cultuurhistorische waarden verloren gaan. Dit moeten we voorkomen.

Wat wetenschappelijk bekend is van de effecten van het aanbrengen van isolatiematerialen, is vooral opgedaan door het uitvoeren van laboratoriumproeven. Naar de effecten in de praktijk is voor historische gebouwen in Nederland nog weinig onderzoek gedaan. Pas recentelijk zijn binnen het project Monumentenkennis 2019-2024 hygrothermische meting uitgevoerd aan twee na-isolatieoplossingen³. Wel is er bij adviesbureaus veel kennis over bouwschade en gebreken met een bouwfysische oorzaak. Echter die kennis wordt zelden gedeeld, veelal, omdat opdrachtgevers dit niet willen. Als het gaat om bouwfysica hebben we te maken met wetenschappelijke onderzoeksresultaten, berekeningen en simulaties volgens bepaalde methoden en normen, en met bepaalde randcondities. De ervaring leert echter dat 'iets in de praktijk' toepassen, toch net anders gaat dan op de detailtekening getekend staat of wat berekeningen ons als uitkomst geven. Daarnaast zien we ook dat in de praktijk keuzes op basis van ervaringen en 'gezond verstand' worden gemaakt.

De conclusie is dat er behoefte is aan een verdieping van de beschikbare kennis in de erfgoedsector door een combinatie van praktijkkennis en wetenschappelijke bouwfysische kennis. Met dit onderzoek beogen we de wetenschappelijke kant te verbinden met de praktijk, om deze elkaar te laten versterken en tot gemeenschappelijke inzichten te komen.

1.2 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is het verkrijgen van een beeld uit de praktijk op basis van casestudies, waarmee bepaald kan worden of en welke problematieken omtrent na-isolatie zich kunnen voordoen in woonhuismonumenten. Het onderzoek beoogd hiermee een bijdrage te leveren aan de totstandkoming van meer eenduidigheid over de bouwfysische aspecten van het isoleren. In monumenten met een museale of kantoorfunctie kunnen andere aspecten een rol spelen, zoals een langdurig hoge vochtbelasting door bijvoorbeeld luchtbevochtiging. Het onderzoek richt zich derhalve op woonhuismonumenten.

1.3 Uitvoering onderzoek

Het locatie-onderzoek is uitgevoerd door Ingenieursbureau Physitec in samenwerking met Restauratiebedrijf Verwoerd. De analyse en rapportage is uitgevoerd door Stichting ERM en Physitec. Een onafhankelijk expertteam - bestaande uit Henk Schellen (Adviesbureau Schellen) en Arjan Pleysier (Ingenieursbureau Deerns) - heeft een bouwfysische beoordeling uitgevoerd met betrekking tot de analyses en conclusies van het rapport. De bouwfysische berekeningen zijn uitgevoerd door Bouwadviesbureau ZR⁴. Het Centraal College van Deskundigen Restauratiekwaliteit (CCvD)⁵ van de Stichting ERM heeft daarna het rapport goedgekeurd. Door het CCvD zijn enkele kanttekeningen geplaatst, onder meer met betrekking tot de representativiteit van de onderzoeksresultaten, vanwege het beperkt aantal onderzochte casussen.

² De Routekaart Duurzaam Erfgoed is een initiatief van de monumentensector om een belangrijke bijdrage te leveren aan de doelstellingen van het Klimaatakkoord. Voor monumenten is een gemiddelde CO₂-reductie van 40% in 2030 en 60% in 2040 ten doel gesteld.

³ Quist, W. (2024). Energetische prestaties van massieve baksteengevels in woonhuismonumenten, syllabus bij het eindsymposium op 20 november 2024 van Monumentenkennis 2019-2024. Delft, TUD, Leuven KUL, Amersfoort, RCE.

⁴ Van der Bijl, M. (2024). Rekenonderzoek na-isolatie gebouwschil monumentale gebouwen: berekeningen thermo-hygrisch gedrag met Delphin software, Den Haag: ZRi

⁵ Het college bestaat uit brancheorganisaties van uitvoerende bedrijven zoals leveranciers van diensten (aannemers, architecten, specialisten), opdrachtgevers (zowel publieke als private opdrachtgevers) en gemeenten in de rol van bevoegd gezag en andere betrokkenen, zoals de provincies en de RCE.

2.1 Onderzoeksopzet

Het onderzoek bestond uit onderstaande zes stappen:

Stap 1: Inventarisatie

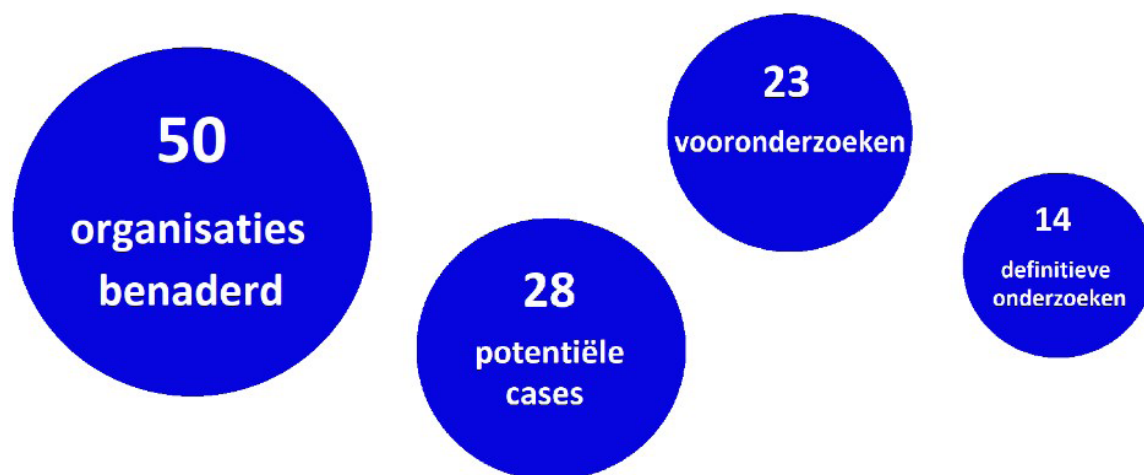
Stap 2: Vooronderzoek

Stap 3: Casestudies

Stap 4: Bouwfysische berekeningen

Stap 5: Rapportage

Stap 6: Besluitvorming en kennisoverdracht



2.1.1 Stap 1: Inventarisatie

Het doel van stap 1 is het verkrijgen van een eerste beeld ten aanzien van de uitvoerbaarheid van het onderzoek.

Hiervoor zijn onderstaande activiteiten uitgevoerd:

- A. Benaderen van organisaties en personen – waaronder particuliere eigenaren van woonhuismonumenten - met het verzoek om potentieel te evalueren casussen (positieve én negatieve casussen) aan te dragen die voldoen aan de hierna vermelde criteria.
- B. Verzamelen van basisinformatie en selectie van de definitieve casussen (zie Bijlage A, checklist selectie casestudies). Hierbij is gekozen voor locaties die op voorhand de meeste aandacht vragen en bouwfysisch gezien enigszins vergelijkbaar⁶ zijn. Hierbij zijn de volgende criteria gehanteerd:
 - Woonhuisfunctie (oorspronkelijk of herbestemd);
 - Na-isolatie van dak en/of gevel (bij voorkeur beide, één van beide bij onvoldoende geschikte locaties);
 - Bij dakisolatie gaat de belangstelling met name uit naar isolatie aan de binnenzijde (koud-dak isolatie) van met dakpannen gedekte hellende daken;
 - Bij gevelisolatie gaat de belangstelling met name uit naar isolatie aan de binnenzijde en naar voorzetconstructies (met en zonder spouw), alsmede balkopleggingen (met en zonder doorlopende folies);
 - Diversiteit in toegepaste isolatiesystemen en -materialen;
 - Langere periode geleden uitgevoerd (liefst 3 jaar of langer geleden), zodat de constructie verschillende klimaatcondities heeft ondergaan;
 - Liefst gelegen in ruimten met (enige) vochtproductie.

Het resultaat van stap 1 is een lijst met 28 potentieel geschikte casussen.

⁶ Verschillen komen ook voort uit andere ligging & oriëntatie t.a.v. slagregenbelasting, bezonning, interne vochtlast, materiaaleigenschappen van de toegepaste gevelsteen, evt. aanwezige hydrofobering etc. Dit wordt in de beschrijvingen zo veel mogelijk meegenomen.

2.1.2 Stap 2: Vooronderzoek

Het doel van stap 2 is het opstellen van richtlijnen voor een systematische, efficiënte en inhoudelijk juiste uitvoering van de casestudies en het selecteren van geschikte casussen. Hiervoor zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Het uitvoeren van een literatuurstudie waaruit helder dient te worden wat de stand van zaken is omtrent dit onderwerp;
- Het opstellen van een checklist ten behoeve van de selectie van de casussen;
- Het opstellen van een checklist met onderwerpen die tijdens de casestudy tenminste gezien moeten worden;
- Het opstellen van een werkwijze (dossieronderzoek; locatie-onderzoek; demonteren (open maken), analyseren, dichtmaken en randvoorwaarden daarbij);
- Het opstellen van een protocol omtrent het omgaan met pandeigenaren, gebouwgebruikers en aannemers (informatie; kostenvergoeding; verzekering);
- Het regelen van een aansprakelijkheidsverzekering i.v.m. garanties over open- en dichtmaken van de constructie ten behoeve van het onderzoek;
- Het uitvoeren van locatiebezoeken, om vast te stellen of de voor onderzoek beoogde objecten voldoen aan de genoemde criteria. Hierbij is gesproken met de gebruiker van het pand of pandeigenaar en zijn de mogelijke onderzoeksposities vastgesteld;
- Het vaststellen van de definitief te onderzoeken panden.

De resultaten van stap 2 zijn onder meer een theoretische beschrijving met literatuurverwijzingen, checklisten ten behoeve van selectie van de casussen (zie Bijlagen A en B), een document waarin de onderzoeksmethode per casus is vastgelegd en een document waarin de omgangswijze met pandeigenaren is vastgelegd (zie Bijlage C). Er zijn 23 vooronderzoeken uitgevoerd op basis waarvan 14 casussen zijn geselecteerd voor de casestudies.

2.1.3 Stap 3: Uitvoering casestudies

Het doel van stap 3 is het verzamelen van de gegevens die de basis zullen vormen voor de rapportage. Hiervoor zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Het inplannen van het locatiebezoek in overleg met pandeigenaren, gebouwgebruikers, aannemers en bouwfysisch adviseur;
- Uitvoering van het onderzoek op locatie op basis van een checklist (zie Bijlage A, checklist uitvoering casestudies) en afspraken die zijn vastgesteld in stap 2. In paragraaf 2.2 wordt dieper ingegaan op de ter plaatse uitgevoerde metingen;
- Bouwfysische doorrekening van de onderzochte casussen.

Het resultaat van stap 3 is een set met bouwfysische data omtrent de na-isolatie, die verder geanalyseerd en uitgewerkt wordt in stap 5. Verder zijn er foto's gemaakt van de onderzochte posities en foto's na afloop van het onderzoek die aantonen dat de opengemaakte delen weer correct zijn hersteld. In deze fase zijn ook de bouwfysische experts benaderd voor het expertpanel, ten behoeve van onafhankelijke advisering en review van het concept-rapport.

2.1.4 Stap 4: Bouwfysische berekeningen

Het doel van stap 4 is het spiegelen van de praktijkresultaten aan theoretische bouwfysische modellen. Daartoe is met Delphin simulatiesoftware het thermo-hygrische gedrag van de constructies doorgerekend op de meest kritische punten van de opengemaakte onderzoeksposities. Op basis van 3 rekenscenario's qua binnenklimaat en regenbelasting zijn per positie 9 combinatiescenario's doorgerekend. Hiermee wordt inzichtelijk gemaakt welke klimatologische omstandigheden wel of niet kritisch zijn en wanneer er dus schade zou kunnen ontstaan. Zodoende wordt indicatief inzicht verkregen van de klimaatcondities waarbij de betreffende isolatiemaatregelen al dan niet toepasbaar zijn.

2.1.5 Stap 5: Rapportage

Het doel van stap 5 is het uitwerken van de verkregen data, het ontwikkelen van generieke inzichten en het op generiek niveau formuleren van acties voor vervolgonderzoek. Hiervoor zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Analyse van de verkregen data, het waar mogelijk opstellen van generieke inzichten en aanbevelingen (wat gaat goed / fout; onduidelijkheden / kennisdoelen; opties voor verbetering; communicatie);
- Het opstellen van een integrale schriftelijke rapportage (conceptversie);
- Het concept-rapport voor review voorleggen aan het expertpanel;
- Verwerking van reacties van het expertpanel in een definitief concept-rapport;
- Het uitwerken van een notitie ten behoeve van implementatie van resultaten in uitvoeringsrichtlijnen en publicaties van Stichting ERM en RCE.

Het resultaat van stap 5 is een concept-rapport met generieke inzichten over bouwfysische aspecten in relatie tot het isoleren van gebouwde monumenten en een notitie met aanbevelingen in relatie tot uitvoeringsrichtlijnen van Stichting ERM of andere publicaties van Stichting ERM en/of RCE.

2.1.6 Stap 6: Besluitvorming en kennisoverdracht

Het doel van stap 6 is het vaststellen van het concept-rapport en de notitie met betrekking tot het vervolg, alsmede het delen van gegevens. Hiervoor worden de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Eerste bespreking van de resultaten in het Centraal College van Deskundigen Restauratiekwaliteit (CCvD); vaststellen rapport en notitie m.b.t. het vervolg als ontwerpdocumenten, verwerken van opmerkingen;
- Kennisbijeenkomst voor geïnteresseerden in de sector waar het rapport toegelicht en vervolgacties besproken worden;
- Tweede bespreking in het CCvD; vaststellen als definitief rapport inclusief besluit over de wijze van implementeren van de resultaten (in URL-en en/of RCE-publicaties).

Het resultaat van stap 6 is een vastgesteld rapport met conclusies en aanbevelingen. De sector heeft kennis kunnen nemen van de inhoud.

2.2 Beschrijving van de uitgevoerde metingen

Tijdens uitvoering van de casestudies zijn ter plaatse metingen uitgevoerd om de randcondities tijdens het onderzoek vast te stellen en om een indicatie van de bouwfysische conditie op dat moment te verkrijgen.

- Het vaststellen van de ruimteluchttemperatuur en buitenluchttemperatuur: hiervoor is gebruik gemaakt van een digitale temperatuursensor met display, van het type TFA Dostmann 30.1018. Voor het nemen van de meting is de sensor minimaal 5 minuten op de meetpositie gepositioneerd, alvorens de waarde van de display af te lezen.
- Het meten van het materiaalvochtgehalte net onder het oppervlak van houten constructiedelen, bijvoorbeeld van balken die door de isolatie steken. Hiervoor is gebruik gemaakt van een elektrische weerstandsmeter van het type Testo 606-1. Dit apparaat beschikt over twee scherpe pennen die enkele millimeters in het te bemeten object gedrukt worden. Middels in het apparaat opgeslagen materiaalkarakteristieken voor hout wordt een indicatie van het materiaalvochtgehalte weergegeven. Bij metingen aan hout is hierbij gecontroleerd of het materiaalvochtgehalte te beoordelen is als droog (materiaalvochtgehalte $\leq 21\%$), of dat een verhoogd vochtgehalte betreft (materiaalvochtgehalte $>21\%$), waardoor het risico op schimmelgroei aannemelijk is.
- Om potentieel interessante onderzoeksposities in de gebouwschil vast te stellen, zoals thermische bruggen, is gebruik gemaakt van infraroodthermografie. Hiervoor is gebruik gemaakt van een thermische camera van het type Testo 882. Waar mogelijk is getracht om opnamen te maken als het verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur minimaal 15°C bedraagt.

3 Achtergrond en theorie

Om de aanleiding van het uitgevoerde onderzoek beter te kunnen begrijpen, is in dit hoofdstuk enige achtergrondinformatie gegeven. Het is hier niet de bedoeling om een volledig en uitputtend overzicht te geven over het onderwerp na-isolatie van monumenten. Het doel van de hierna beschreven informatie is slechts om de lezer voldoende achtergrondinformatie te geven om het uitgevoerde onderzoek en de onderzoeksresultaten in de juiste context te kunnen plaatsen.

3.1 Klimaatdoelstellingen

Het in 2019 door de Nederlandse overheid aangekondigde Klimaatakkoord⁷ heeft als doel de uitstoot van broeikasgassen, waaronder CO₂, in 2030 met 49% te verminderen ten opzichte van 1990. Voor monumenten geldt een iets lagere doelstelling van 40% CO₂-reductie⁸. Verduurzamingsmaatregelen zijn daar namelijk niet ongelimiteerd mogelijk door bouwkundige beperkingen en bijzondere cultuurhistorische waarden.

De gebouwde omgeving in Nederland is voor ca. 13% verantwoordelijk voor de uitstoot van broeikasgassen. Het aandeel van huishoudens daarin bedraagt ca. 71%⁹. Van het totale energiegebruik van een gemiddelde woning is ca. 75% toe te wijzen aan verwarming. Deze verwarming geschiedt nu in ca. 95%¹⁰ van alle gevallen op basis van aardgas: een fossiele brandstof. In combinatie met de in 2022 explosief gestegen energieprijzen, is de focus op verduurzaming van de Nederlandse woningvoorraad derhalve begrijpelijk. Huizen van voor 1975 zijn tijdens de bouw niet of slechts zeer beperkt geïsoleerd. Nederland telt ca. 8 miljoen woningen¹¹, waarvan bijna de helft, ca. 49%, is gebouwd vóór 1975¹². In die klasse zijn de meeste beschermde monumentale woonhuizen vertegenwoordigd, zoals een groot deel van de ca. 62.000 rijksmonumenten¹³ en ca. 80.000 aantal gemeentelijke monumenten¹⁴ die Nederland rijk is.

Het aandeel beschermde monumenten mag dan met nog geen 2% van de totale Nederlandse woningvoorraad klein lijken, het energiegebruik is in veel gevallen hoger dan de gemiddelde Nederlandse woning. De reden daarvoor is meerledig. Ten eerste zijn monumenten qua inhoud vaak groter en hebben daardoor een groter oppervlak van de gebouwschil, waardoor meer warmteverlies optreedt. Ten tweede is de bouwfysische kwaliteit vaak lager, denk aan ongeïsoleerde gevels en daken en enkel glas. Ten derde speelt het feit dat deze panden vermoedelijk bovengemiddeld vaak vrijstaand zijn, een rol in het verhoogde warmteverlies tijdens het stookseizoen en daarmee het energiegebruik. Samengevat valt in deze sector van de woningvoorraad dus winst te halen.

3.2 Na-isolatie

Het terugdringen van de energiebehoefte van gebouwen is de eerste prioriteit binnen de Trias Energetica die in de verduurzamingspraktijk wordt gehanteerd. Immers, wat je niet verbruikt hoeft je ook niet op te wekken. Na-isolatie neemt hierbinnen een belangrijke positie in.

3.2.1 Doel van na-isolatie

Om de thermische kwaliteit van de gebouwschil te verbeteren, kan deze voorzien worden van isolatiemateriaal. Dit *na-isoleren* kan aan de buitenzijde of aan de binnenzijde van de gevel geschieden en in het geval van een spouwmuur in de gevel. Het doel van het na-isoleren van een woonhuis is het verhogen van de isolatiewaarde van de gebouwschil, teneinde de volgende effecten te bereiken (gerangschikt in willekeurige volgorde):

⁷ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/06/28/klimaatakkoord>

⁸ <https://www.rvo.nl/onderwerpen/verduurzaming-utiliteitsbouw/maatschappelijk-vastgoed/monumenten-en-musea>

⁹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-broeikasgassen/hoofdcategorieen/welke-sectoren-stoten-broeikasgassen-uit->

¹⁰ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/aardgasvrij-wonen/wonen-zonder-aardgas/>

¹¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/31/8-miljoen-woningen-in-nederland>

¹² <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82550NED/table?dl=3FEF6>

¹³ <https://erfgoedmonitor.cultureelerfgoed.nl/mosaic/dashboard/monumenten/>

¹⁴ <https://www.restauratiefonds.nl/files/docs/2023-08/2023-08-29%20NVM%20en%20Restauratiefonds%20Onderzoek%20naar%20de%20markt%20voor%20monumenten%20-%20augustus%202023.pdf>

1. Verduurzaming: energiebesparing met als doel het verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen en CO₂-reductie.
 2. Kostenbesparing: met als doel een financieel voordeel voor de eigenaar als gevolg van energiebesparing.
 3. Comfortverhoging: een aangenamer binnenmilieu voor de gebruiker, met name tijdens het stookseizoen.
- Ten aanzien van de eerste factor geldt aanvullend dat door het thermisch opwaarderen van de gebouwschil tevens minder verwarmingscapaciteit nodig is en dat de benodigde warmteafgifte per vertrek lager is. Hierdoor is het in bepaalde gevallen mogelijk om duurzame warmteopwekkingstechnieken toe te passen, bijvoorbeeld warmtepompen. Deze systemen werken vaak met een laag temperatuur traject (LTV), waardoor de warmteafgifte per oppervlakte-eenheid ten opzichte van een conventioneel hoogtemperatuurtraject beperkt is.

Ten aanzien van de tweede factor speelt de terugverdientijd van de isolatie-ingreep een belangrijke rol, tenzij verduurzaming de primaire reden van na-isolatie is. Een terugverdientijd ruim binnen de technische levensduur van de maatregel is in het algemeen een goede overweging om een maatregel toe te passen. Bij stijgende energieprijzen kan de aanvankelijk berekende terugverdientijd gedurende het gebruik echter sterk dalen.

Ten aanzien van de derde factor speelt de verhoging van de binnenoppervlaktetemperatuur van de na-geïsoleerde gebouwschil een belangrijke rol, al dan niet gecombineerd met een verbeterde kierdichting. Hierdoor worden tijdens het stookseizoen verschijnselen als koudestraling, koudeval en stralingsasymmetrie verminderd, waardoor de behaaglijkheid toeneemt. In de zomer kan na-isolatie er echter voor zorgen dat het warmer wordt in huis dan in de ongeïsoleerde situatie. De mate van nachtelijke afkoeling is dan namelijk lager dan in de ongeïsoleerde situatie. Dit kan worden ondervangen door extra nachtelijke ventilatie. Ook leidt binnenisolatie tot het afschermen van de thermische capaciteit aan de binnenzijde van een constructie, waardoor opwarming van de binnenlucht in de zomer veel sneller verloopt.

De keuze om na-isolatie toe te passen is in de praktijk veelal gebaseerd op een combinatie van de drie beschreven gewenste effecten en veelal niet alleen omwille van verduurzaming.

Omdat het aanbrengen van isolatiemateriaal aan de buitenzijde bij monumenten vaak grote gevolgen heeft voor het gevelaanzicht, is het aanbrengen van isolatiemateriaal aan de binnenzijde meestal de enige optie. Isolatie aan de binnenzijde aanbrengen is in het algemeen echter risicovoller dan isoleren aan de buitenzijde. Deze risico's zijn in de volgende paragraaf nader toegelicht.

3.2.2 Risico's van na-isolatie

Het ondoordacht of onzorgvuldig na-isoleren kan op termijn leiden tot negatieve effecten. De beoogde effecten van na-isolatie - verduurzaming, kostenbesparing en comfortverhoging - kunnen hierdoor alle drie sterk gereduceerd of zelfs volledig teniet gedaan worden.

Bijvoorbeeld in de situatie dat het isolatiemateriaal nat wordt. De isolatiewaarde neemt dan sterk af. Hierdoor is de energiebesparing in de winter lager dan potentieel mogelijk is, ten opzichte van de situatie waarin het isolatiemateriaal droog is en kan het comfort dalen. In extreme gevallen, waarbij schimmels ontstaan - waarvan de sporen in de leefzone vrij kunnen komen - komt zelfs de gezondheid van de bewoners in het geding.

In aanvulling hierop speelt het behoud van monumentale waarden een grote rol. In dit opzicht spelen twee risicofactoren een belangrijke rol.

Door het onzorgvuldig na-isoleren kan het architectonische gevelbeeld sterk aangetast worden, of kunnen aan de binnenzijde architectonisch waardevolle detailleringen verdwijnen. Ook kan vervolgschade door bouwfysische randverschijnselen, zoals condensatie en schimmelvorming, leiden tot een irreversibel verlies van historisch materiaal wat vervangen moet worden waardoor ook monumentale waarden verloren gaan.

Na-isolatie aan de binnenzijde van de gebouwschil kent diverse risico's als dit ondoordacht of onzorgvuldig gebeurt. De voornaamste risico's zijn:

1. Houtrot als gevolg van een te hoog houtvochtgehalte (>20m%) bijvoorbeeld door inwendige condensatie in de gebouwschil.
2. Vorstschade aan de buitenzijde van de gevel¹⁵.
3. Biologische groei aan de buitenzijde van de gevel.
4. Gezondheidsrisico's ten gevolge van onder meer vocht, schimmels en schadelijke dampen of vezels bij toepassing van bepaalde isolatiematerialen.

Na-isolatie aan de buitenzijde kent in het algemeen minder risico's dan isolatie aan de binnenzijde. Door het aanbrengen van de isolatie aan de buitenzijde worden de constructieve elementen en zogenaamde koudebruggen namelijk ingepakt, waardoor deze in de winter warm blijven. Vocht kan daardoor niet neerslaan op die elementen.

Na-isolatie gaat doorgaans samen met kierdichting rondom gevelopeningen (ramen, deuren en kozijnen). Hierdoor vermindert de natuurlijke luchtuitwisseling van het gebouw, waardoor vochtige binnenlucht onvoldoende afgevoerd wordt en de risico's ten gevolge van na-isolatie zich kunnen verergeren. Daarom moeten ventilatievoorzieningen worden aangebracht om het verlies aan natuurlijke ventilatie te compenseren.

Het ontstaan van bovenstaande risico's en neveneffecten wordt in de volgende paragraaf toegelicht.

3.3 Bouwfysische achtergrond

Om de bouwfysische risico's beter te kunnen begrijpen wordt eerst ingegaan op het damptransport door de gebouwschil en vervolgens op de gewijzigde eigenschappen van de gebouwschil na het aanbrengen van isolatie. Afgezien van de genoemde risico's is middels het isoleren aan de binnenzijde de kwaliteit van de gebouwschil aanzienlijk op te waarderen, net als bij na-isolatie aan de buitenzijde. Vervolgens wordt ingegaan op de bouwfysische berekeningen die ten behoeve van dit onderzoek zijn uitgevoerd.

3.3.1 Vochttransport door de gebouwschil

3.3.1.1 Vochttransport door de gevel

Door een ongeïsoleerde gebouwschil treedt van nature vochttransport op. Het betreft hier bijvoorbeeld vocht afkomstig van hemelwater, oppervlaktecondensatie, vocht uit de binnen- of buitenlucht en leefvocht. Dit vocht, in vloeibare of gasvormige staat (waterdamp), migreert door de gevel als gevolg van zwaartekracht, diffusie en de capillaire werking van bouwmaterialen zoals baksteen. Waterdamp verspreidt zich van een omgeving met een hoge dampdruk naar een omgeving met een lagere dampdruk. Normaliter betekent dit dat bij een ongeïsoleerde gevel van een verwarmde ruimte in de winter primair vochttransport optreedt van binnen naar buiten toe, omdat de dampdruk binnen dan veelal hoger is dan buiten.

3.3.1.2 Vochttransport door het dak

De primaire functie van een dak is het waterdicht maken van de gebouwschil. Waterdicht betekent echter niet dampdicht. Monumentale ongeïsoleerde daken - in dit onderzoek ligt de focus op hellende dakvlakken met pandekking - zijn in het algemeen redelijk dampopen. De dampuitwisseling tussen binnen- en buitenlucht vindt hoofdzakelijk convectief plaats via kieren en spleten. Bij wind in combinatie met regenval, stuifsnieuw of verschoven pannen, kan het dakbeschot nat worden. In veel gevallen kan dat ook weer drogen, versneld door bezonning en de wind die onder de pannen voor een goede ventilatie zorgt.

¹⁵ De vorstbestendigheid van de toegepaste gevelsteen is hierin bepalend.

3.3.2 Gewijzigde eigenschappen na het aanbrengen van binnenisolatie en potentiële gevolgen

In het geval van een aan de binnenzijde na-geïsoleerde gebouwschil veranderen echter de thermo-hygrische eigenschappen:

1. De warmtestroom van binnen naar buiten wordt in de winter door de isolatie verminderd. Dit is uiteindelijk ook het beoogde doel is van thermische isolatie, omwille van energiebesparing en comfortverbetering. Voor een bestaand geveldeel betekent dat bijvoorbeeld dat deze in de winter kouder zal worden. Dit heeft consequenties voor de mate en snelheid van droging van het buitenblad, het aantal vorst-dooicycli dat het buitenblad ervaart, de diepte van in de constructie dringende vorst en mogelijk ook het risico op thermische scheuren. Bekend zijn nadelige gevolgen, zoals het ontstaan van vorstschade aan het buitenblad of het optreden van biologische groei (mossen, algen en/of schimmels). Mogelijk neemt ook het risico toe op schade ten gevolge van in het metselwerk aanwezig zouten¹⁶.
2. Bij een aan de binnenzijde geïsoleerd dak ligt het risico als gevolg van de verminderde warmtestroom met name op het vlak van een verminderde droging. In het geval dat bijvoorbeeld inwatering optreedt en het dakbeschot nat wordt, zal het langer nat blijven. Dit wordt versterkt door de verminderde of afwezige drogingsmogelijkheid naar de binnenzijde toe. Door de aanwezigheid van de isolatie is er vaak geen zicht meer op het dakbeschot. Lekkages worden dan niet of pas later gesignaleerd, als er mogelijk al schade aan het dakbeschot opgetreden is.
3. Ook voor dakconstructies geldt dat bij de aanwezigheid van een dampremmend isolatiemateriaal of een dampremmende folie de drogingscapaciteit verminderd wordt. Deze dampremmende functie is weliswaar vaak vereist, maar kan bij matige kwaliteit van de dakbedekking op gespannen voet staan met de drogingsmogelijkheden.
4. Met name slagregenbelaste geveldelen kunnen grote hoeveelheden water absorberen. Hoewel de droging van een steenachtige gevel naar buiten toe belangrijker is dan naar binnen toe, kan de mate van droging van de gevel naar binnen na isolatie af nemen, of bij de aanwezigheid van een dampremmende isolatie of dampremmende folies zelfs nagenoeg geëlimineerd worden. Gevolg daarvan is dat de steenachtige gevel gedurende het jaar natter wordt. Doordat het buitenste deel van de gevel natter is, neemt de verdamping naar buiten toe af. Dit effect wordt versterkt door de verminderde warmtestroom, zoals onder punt 1 beschreven. Het mogelijke nadelig gevolg hiervan is het ontstaan van vochtvlekken aan de gevel, zoutuitbloei, een verminderde isolatiewaarde of een toename van vorstschades en biologische groei.
5. Als gevolg van de aangebrachte isolatielaag is het risico aanwezig dat de dampspanning in de constructie de maximale dampspanning overschrijdt. Dit betekent dat van binnen naar buiten migrerende damp op dat vlak kan condenseren. Bij beperkte hoeveelheden condensvocht hoeft dat niet problematisch te zijn, immers dit vocht kan dan in veel gevallen weer drogen. Bij langdurige condensatie in combinatie met een verminderde droging naar binnen en/of buiten, kan echter na jaren vochtaccumulatie optreden. Dat is het gevolg als tijdens het stookseizoen meer vocht in de constructie ontstaat dan dat in de zomer kan drogen. In extreme gevallen kan dan water uit de gevel treden of kan isolatiemateriaal doordrenkt raken, met schimmelgroei en een sterk verlaagde isolatiewaarde als gevolg. Om dit te voorkomen wordt het aan de binnenzijde aangebrachte isolatiemateriaal in veel gevallen ook aan de vertrekzijde voorzien van een dampremmende folie. Deze dampremmende folie moet echter perfect aansluiten. Eenmaal achter de folie geraakt kan die damp namelijk opgesloten raken en eventueel alsnog accumuleren. In de praktijk is een dergelijke perfecte aansluiting vaak moeilijk te realiseren, zeker bij monumenten. Als deze tijdens de uitvoering al perfect aangebracht is, dan is het risico aanwezig dat de aansluitingen na verloop van tijd alsnog onderbroken worden¹⁷, bijvoorbeeld ten gevolge van materiaalveroudering (bijv. loslatende tape), doorboring van de dampremmende laag en werking van met name houten constructiedelen.
6. Door het aanbrengen van isolatiemateriaal aan de binnenzijde wordt het effect van sommige aanwezige koudebruggen versterkt. Een voorbeeld is de doorbreking van het isolatiemateriaal door metselwerk scheidingswanden. In de ongeïsoleerde situatie was het metselwerk ter plaatse van de aansluiting van de scheidingswand in de winter warmer. In de geïsoleerde situatie is het metselwerk echter kouder, waardoor een versterkt warmteverlies via aansluiting van de scheidingswand ontstaat bij lage buitentemperaturen. Door de verlaagde temperatuur van aansluiting van de scheidingswand ontstaat dan vele malen sneller condensatie dan in de ongeïsoleerde situatie. Dit condensvocht kan in de constructie ontstaan en daar accumuleren.

¹⁶ Ueno K, Van Straaten R, Schumacher C. (2013) Interior insulation of mass masonry walls: joist monitoring, material test optimization, salt effects. Research Report – 1307. U.S. Department of Energy.

¹⁷ Vereecken, E. (2013) Hygrothermal Analysis of Interior Insulation for Renovation Projects, Dissertatie, KU Leuven.

3.3.3 Bouwfysische berekeningen

3.3.3.1 Algemene uitgangspunten

Alle gevelconstructies van casus 1 t/m 14 zijn bouwfysisch doorerekend op basis van een thermo-hygrische gevoeligheidsanalyse. Voor de dakdetails zijn alleen de na-isolatieconstructies berekend die bouwfysisch als gevoelig zijn beoordeeld. Dit betreft de dakconstructies van casus 3, 8, 13 en 14.

De thermo-hygrische berekeningen maken inzichtelijk waarom er bij de constructies wel of geen vochtschade is ontstaan in de voorgaande periode. Aanvullend is onderzocht bij welke klimatologische omstandigheden aan de binnen- en buitenzijde er wel schade zou kunnen ontstaan. Dit is van meerwaarde, omdat dan bij toekomstige keuzes voor na-isolatie beter kan worden voorspeld bij welke condities de betreffende isolatiemaatregelen al dan niet toepasbaar zijn.

Bij het rekenonderzoek is uitgegaan van een goede uitvoering van voorzieningen. Dat betekent bijvoorbeeld dat dampdichte lagen correct zijn aangebracht en een gesloten en luchtdicht vlak vormen en dat ook de aansluitingen goed zijn afgedicht. Constructies die rekentechnisch in orde zijn gevonden, kunnen in de praktijk mogelijk alsnog schade ondervinden indien de uitvoering niet correct of niet zorgvuldig is gebeurd.

De vloer-, wand- of dak(rand)aansluitingen zijn niet in de berekeningen meegenomen, omdat die posities niet zijn onderzocht. Dergelijke aansluitingen zijn vaak wel maatgevend en zouden tot andere conclusies kunnen leiden. Bij het na-isoleren van bouwconstructies ontstaan grote veranderingen in het temperatuurregime en het temperatuurverloop in de bestaande constructies, wat kan leiden tot bouwfysische problemen of zelfs schade. Aan de hand van de simulatieberekeningen wordt duidelijk hoe gevoelig na-geïsoleerde constructies zijn voor interne vochtproblemen door vochtbelastingen van binnenuit (die mogelijk zijn toegenomen door onvoldoende ventilatie) alsmede van buitenaf.

In de simulaties is geen aandacht besteed aan hinder of schade die aan de buitenzijde van de gevels of daken kunnen ontstaan door de na-isolatiemethode. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan (verergering van) mosgroei en vorstschade. Er is hoofdzakelijk gekeken naar de thermo-hygrische effecten aan de binnenzijde en in het inwendige van de scheidingsconstructies.

3.3.3.2 Simulatiesoftware

De berekeningen zijn in opdracht van RCE uitgevoerd door bouwfysisch adviesbureau ZRi. Zij hebben de berekeningen uitgevoerd met softwarepakket Delphin (v6.1.6), waarmee bouwkundige constructies kunnen worden doorerekend op basis van klimaatfiles met temperatuur, luchtvochtigheid, regenwater en zonstraling. Optioneel kunnen ook eigen invoerbestanden worden toegepast. Voor het onderhavige onderzoek is gebruik gemaakt van klimaatgegevens die representatief zijn voor Nederland, mede, omdat alle onderzochte gebouwen zijn gesitueerd in Nederland. In de simulatieberekeningen worden de bouwconstructies blootgesteld aan oplopende vochtbelasting, zowel van binnenuit (dampdruk door binnenklimaat) als van buiten (door luchtvochtigheid en regenval). Hierbij zijn de constructies blootgesteld aan een meerjarige analyse om de vochtaccumulatie en droging te beoordelen. De geveldetails zijn onderworpen aan exact dezelfde klimatologische condities, zodat de vochtgevoeligheid onderling kan worden vergeleken. De uitgangspunten voor de dakdetails verschillen enigszins van de geveldetails, maar zijn wel uniform uitgevoerd, zodat deze ook onderling kunnen worden vergeleken.

3.3.3.3 Materiaalkundige uitgangspunten

De berekeningen zijn hoofdzakelijk uitgevoerd met de materiaalgegevens uit de database van de Delphin-software. Hierbij zijn vooral materialen toegepast waarvoor de database compleet is qua materiaaleigenschappen (warmtegeleidingscoëfficiënt, waterdampdiffusieweerstandsgetal, porositeit, waterabsorptiecoëfficiënt, etc.). In een aantal gevallen zijn deze materiaaleigenschappen aangepast, bijvoorbeeld voor luchtsponnen met warmtereflecterende folies/cacheringen.

Bakstenen

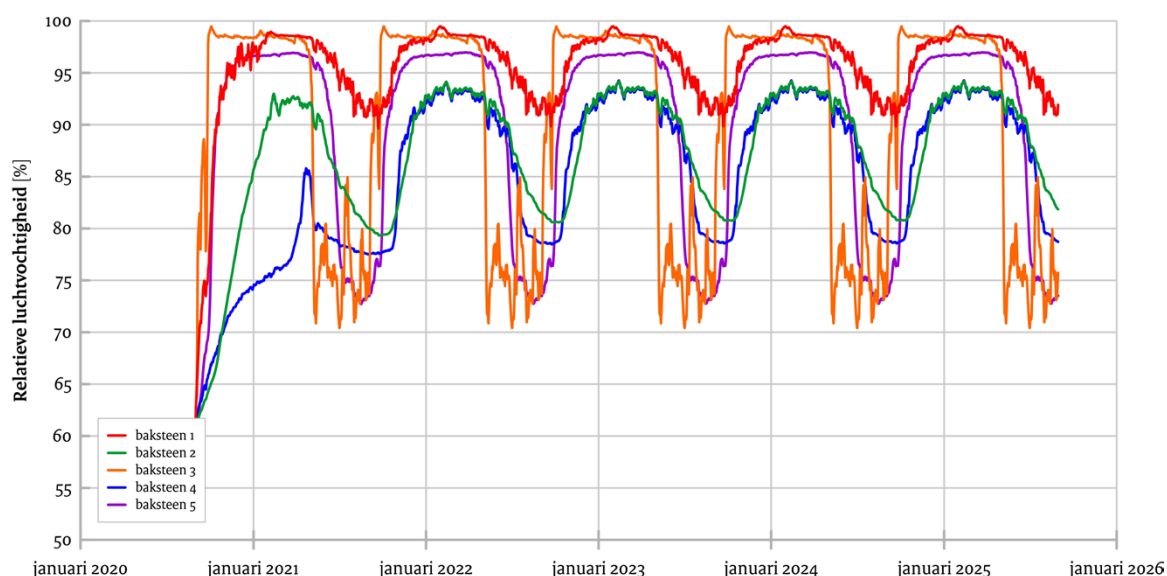
De onderzochte gebouwen hebben een uiteenlopende ouderdom (variërend van enkele honderden jaren tot circa 100 jaar) waardoor de toegepaste baksteensoorten bij de panden aanzienlijk zullen verschillen. Bij dit onderzoek is er voor gekozen om de na-isolatiesystemen onderling vergelijkbaar te maken, waardoor alle gevelconstructies met één type baksteen zijn berekend.

Tabel 1 Overzicht van bakstenen met spreiding van vochteigenschappen

	A_w [kg/(m ² ·s ^{0,5})]		W_{80} [kg/m ³]	
Baksteen 1	0,031	(lage wateropnamesnelheid)	0,5	(lage watercapaciteit)
Baksteen 2	0,199	(bovengemiddelde wateropnamesnelheid)	13,4	(gemiddelde watercapaciteit)
Baksteen 3	0,142	(gemiddelde wateropnamesnelheid)	1,2	(lage watercapaciteit)
Baksteen 4	0,102	(matige wateropnamesnelheid)	27,2	(hoge watercapaciteit)
Baksteen 5	0,215	(bovengemiddelde wateropnamesnelheid)	4,9	(matige watercapaciteit)

In figuur 1 zijn de berekeningsresultaten daarvan weergegeven. Deze grafiek laat zien wat de spreiding is van de RV-waarden in de spouw wanneer de genoemde baksteeneigenschappen significant variëren. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de hoogste vochtbelasting, zijnde binnenklimaatklasse 4 en een regenbelasting van 25%.

Bij dit evaluatieonderzoek is er voor gekozen om de berekeningen uit te voeren met een steen die relatief snel een hoge RV bereikt en dus ongunstig is voor het ontwikkelen van vochtschades. Alle berekeningen zijn voor dit onderzoek daarom uitgevoerd met baksteen 5 (blauwe lijn) in figuur 1. Deze steen heeft binnen de beschouwde bandbreedte niet de beste, maar ook niet de slechtste eigenschappen. Hiermee leveren de berekeningsresultaten naar verwachting een redelijk veilige benadering voor de praktijk. Desondanks is het raadzaam om bij gevoelige details, de baksteen-eigenschappen preciezer te bepalen voorafgaand aan de maatregelen, zodat de risico's beter kunnen worden afgewogen.



Figuur 1 Vergelijking relatieve luchtvochtigheid over een looptijd van drie jaar bij de vijf verschillende bakstenen

Raaplagen

In dit onderzoek is verondersteld dat de raaplagen, wanneer deze niet nader zijn gespecificeerd, zijn uitgevoerd met cementkalkpleister.

Geglazuurde wandtegels

Wandafwerkingen met glazuurlagen hebben een significante invloed op de dampwerendheid. In de berekening is het wandtegelfwerk niet meegenomen, omdat het een eenduidige vergelijking met de overige geveldetails belemmert. Het effect van dergelijke dampremmende afwerkingen aan de binnenzijde kan echter een significante invloed hebben op het thermo-hygrisch gedrag van uitwendige scheidingsconstructies.

Wand-/plafondafwerkingen binnenzijde

In alle berekeningen zijn de dampremmende effecten van verflagen of andere wandafwerkingen buiten beschouwing gelaten. In sommige opzichten is dit worst-case aangezien er hierdoor meer damp vanuit de binnenruimten de constructie in kan trekken.

Glaswol-/steenwolisolatie

Voor berekeningen is aangehouden dat de toegepaste glas- en steenwolisolatieproducten zonder cacheerlagen zijn uitgevoerd en daarmee volledig dampopen zijn.

PIR-isolatie

Bij diverse onderzochte geveldetails zijn aan de binnenzijde PIR-isolatieplaten met aluminium cachering toegepast. Tijdens de bouwkundige inspecties van deze details kon niet altijd worden vastgesteld welk fabricaten PIR-isolatie er zijn toegepast. De specifieke eigenschappen van de cacheerlagen qua dampwerendheid kan daardoor alleen worden geraamd. Hierbij geldt verder dat er door geen van de grote fabrikanten (Kingspan, Unilin, Iko Enertherm, Recticel etc.) rekenwaarden voor de dampdoorlatendheid van de aluminium cacheerlagen van PIR-isolatieplaten worden gegeven. De fabrikanten omschrijven de cacheerlagen als gasdicht maar specifieke waarden voor de S_d worden niet gegeven. Wel wordt de μ -waarden voor het PIR-schuim gegeven (μ varieert van 60-100). In dit onderzoek is verondersteld dat deze aluminium cacheerlagen zich gedragen als PE-folies met opgedampt aluminium. De dampweerstand van een cacheerlaag is verondersteld op $S_d=150$ m. Bij tweezijdige cachering is er dus twee maal 150 m aan dampwerendheid aanwezig.

PIR-gips isolatiepanelen bestaan uit een gipskartonplaat met een verlijmd PIR-isolatieplaat. In de productinformatie van deze producten staat dat er gasdichte cacheerlagen zijn toegepast. Tegelijkertijd worden er door de fabrikanten evenwel geen rekenwaarden opgegeven voor de dampweerstand van deze elementen.

In dit onderzoek is besloten om voor deze panelen in de Delphin-berekeningen onderstaande eigenschappen aan te houden:

- Een eenzijdig aangebrachte cacheerlaag (gealuminiseerd met een S_d van 150). Deze zit op het grensvlak van PIR en gipskarton (dit is de "warme zijde" van het paneel)
- Voor de PIR-isolatie is gerekend met een μ van 65
- De gipskartonplaat is berekend als een standaard gipskarton uitvoering.

XPS-isolatie

Onafgewerkte XPS-platen hebben een relatief lage dampweerstand die weliswaar afhankelijk is van de dichtheid, maar bij de meeste bouwplaten rond de $\mu = 100$ ligt. Voor een plaatdikte van 40 mm is de S_d dan 4 m voor alleen de isolatie. Bij dit onderzoek is aangehouden dat de toegepaste bouwplaten geen significant hogere dampwerendheid hebben door de toplagen. De toplagen op de standaard bouwplaten worden namelijk omschreven als een mortellaag en de meeste mortels zijn na droging relatief poreus en daarmee dampdoorlatend. Voor een bouwplaat betekent dit dat de toplaag in een verwaarloosbaar kleine toename van S_d -waarde resulteert.

Houtwol isolatie

De in desbetreffende casus toegepaste houtwolisolatieplaten hebben een fabrieksmatig aangebrachte minerale dampremmende laag. De dampweerstand $S_d \approx 0,5-0,6$ m, wat dermate laag is dat het eigenlijk in de categorie dampopen moet worden geplaatst.

Dampremmende, waterkerende, waterdichte folies

Voor dit onderzoek zijn afhankelijk van de casus onderstaande rekenwaarden aangehouden voor de verschillende typen dampremmende folies.

- Standaard PE-folie niet-gealuminiseerd, $S_d=15$ m
- Standaard gewapende PE-folie niet-gealuminiseerd, $S_d=40$ m
- Standaard gewapende PE-folie met opgedampte aluminium laag, $S_d=150$ m
- Hoogwaardige gewapende aluminium folie met LDPE-coating, $S_d=1500$ m
- Hoogwaardig gealuminiseerd luchtkussenfolie met 2 luchtkamers (3 folie lagen), $S_d=1500$ m
- Gasdichte cacheerlaag PIR platen, $S_d \geq 200$ m.
- Vochtvariabele folie, S_d is afhankelijk van de et de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde

In de Nederlandse bouwpraktijk worden dakfolies ingedeeld in klasse W1 (regendicht, dampopen) en W2 (waterkerend, dampopen). Op basis van de BRL4708¹⁸ dient voor de meeste schuine daken met een referentielevensduur van >25 jaar te worden uitgegaan van W1 folie. In de Delphin berekeningen is verondersteld dat deze dakfolies klasse W1 betreffen. Hierbij is er geen vloeibaar watertransport door de folies heen. Bij de berekende details is in een aantal gevallen ook waterkerende, dampopen folies toegepast. Deze lagen hebben door hun opbouw een lage dampweerstand. Deze lagen zijn gemodelleerd met een representatieve dampweerstand S_d van 0,3 m en deze zijn volledig dicht voor vloeibaar water (zolang er geen sprake is van waterdruk).

De terminologie die voor de dampeigenschappen (doorlatendheid, dampweerstand e.d.) van bouwmaterialen wordt gebruikt, is - voor zo ver bekend - in Nederland niet genormeerd en wordt in de praktijk dus enigszins flexibel gebruikt. In Tabel 2 hieronder is een voor Vlaanderen gangbare classificatie gegeven.

Tabel 2 — Classificatie van dampschermen in functie van de gemiddelde dampdiffusieweerstand met vermelding van indicatieve waarden voor S_d ¹⁹

Klasse	Equivalentente dampdiffusieweerstand ²⁰
	$S_{d_{eq}}$ [m]
E1 – Licht dampremmende materialen	$2 < S_d \leq 5$
E2 – Relatief dampremmende materialen ²¹	$5 < S_d \leq 25$
E3 – Sterk dampremmende materialen ²²	$25 < S_d \leq 200$
E4 – dampdichte materialen	$200 < S_d$

Warmtegeleiding luchtsponen en invloed reflecterende folies/toplagen

Voor de warmtegeleiding van de luchtsponen is gebruik gemaakt van de databasewaarden in Delphin, horende bij de betreffende spouwbreedte en richting van de warmtestroom (uitgaande van ongeventileerde sponen). De spouwconstructies die bij de binnengevelisolatiesystemen zijn toegepast, zijn allemaal verondersteld

¹⁸ SGS INTRON (2013). Nationale beoordelingsrichtlijn BRL 4708 - Regendicht of waterkerende membranen voor hellende daken en gevels. Culemborg, SGS INTRON Certificatie B.V.

¹⁹ Dobbels, F., and D. Langendries. 2014. *Thermische isolatie van hellende daken*. TV 251. Buildwise. <https://www.buildwise.be/nl/publicaties/technische-voorlichtingen/251/>.

²⁰ Bij de uitvoering van hygrothermische studies moet men rekening houden met de exacte waarden van de dampdiffusieweerstand van de materialen en met de invloed van hun plaatsing in het dak (bevestigingen, voegen, randaansluitingen ...). Men neemt de invloed van de plaatsingswijze in aanmerking bij de berekening van de $S_{d_{eq}}$ -waarde, zijnde de equivalentente dampdiffusieweerstand (zie glossarium in bijlage A). De S_d -waarde moet bij de fabrikant opgevraagd worden voor elk product. Indien enkel de S_d -waarde gekend is (de dampdiffusieweerstand van het product zelf, bepaald onder laboratoriumomstandigheden, zonder rekening te houden met de invloed van de plaatsing), moet men er zich van bewust zijn dat de equivalentente dampdiffusieweerstand van het isolatiemateriaal na plaatsing ($S_{d_{eq}}$), lager kan liggen dan de theoretische waarde. Bij de plaatsing van het lucht- en dampscherm in het dak, moet men erop toezien dat alle voegen tussen de verschillende stroken of platen en de aansluitingen met de andere bouwelementen zorgvuldig afgedicht worden (gekleefd of gelast). Het dak moet met andere woorden volledig luchtdicht zijn (luchtdichtheidsklasse L1 of beter). Daarnaast moeten lucht- en dampschermen van de klasse E3 en E4 steeds op een onderbroken ondergrond (bv. een houtgebonden plaat) aangebracht worden. Perforaties (bv. door schroeven of andere mechanische bevestigingsmiddelen) zijn niet toegestaan voor dampschermen van de klasse E4. Als men deze voorschriften naleeft, mag men veronderstellen dat de equivalentente dampdiffusieweerstand voor dampschermen van de klasse E1 of E2 redelijk dicht zal aanleunen bij de theoretische dampdiffusieweerstand ($S_{d_{eq}} \approx S_d$). Bij lucht- en dampschermen met een hoge dampdiffusieweerstand (klasse E3 of beter) kan het gebeuren dat het verschil tussen de reële en de theoretische waarde relatief groot is. Het is bijgevolg aan te raden om te werken met wachtfolies om rekening te houden met de S_d -waarde van de gekozen luchtdichtingstape en om alle aansluitingen op zo een manier af te dichten dat ze volledig luchtdicht zijn.

²¹ Het gamma van producten die momenteel beschikbaar zijn voor een toepassing als dampscherm is heel uitgebreid en evolueert voortdurend.

²² Deze materiaalklasse wordt weinig gebruikt in hellende daken maar kan betere prestaties opleveren als de plaatsing op een onderbroken ondergrond uitgevoerd wordt.

ongeventileerd te zijn. Aangezien in diverse details spouwen met warmtereflecterende toplagen voorkomen zijn voor die spouwen gecorrigeerde λ -waarden toegepast. De Delphin-software maakt namelijk geen gebruik van een stralingsmodel voor luchtsponen. Om het isolerende effect van reflecterende toplagen bij een luchtsponw mee te nemen, moet er dus een aangepaste warmtegeleidingscoëfficiënt voor deze luchtsponw worden bepaald. Deze bepaling heeft plaatsgevonden op basis van de NEN-EN-ISO 6946-2017, uitgaande van het temperatuurverloop in de winterperiode.

Dakconstructie met dakpannen

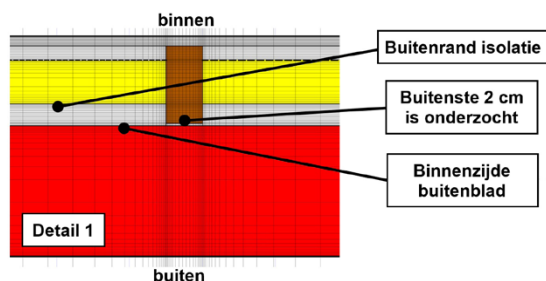
Bij de dakconstructie met dakpannen is aangehouden dat de luchtsponw onder de pannen sterk geventileerd is en dat hier de luchtcondities (qua temperaturen en relatieve luchtvochtigheid) heersen van de buitenlucht. Voor de herkenbaarheid van het dakdetail zijn de dakpannen wel gemodelleerd maar zijn deze voor de analyse volledig buiten beschouwing gelaten.

Dakconstructie met rieten dak

De rietlaag is net als de dakpannen buiten beschouwing gelaten in de thermohygrische beoordeling en is alleen de onderliggende dakconstructie in beschouwing genomen. Er is uitgegaan van een warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda=0,095$ W/m.K en een dampweerstand $\mu=3$. De rietlaag van de enige casus met rieten dak, ligt op een luchtsponw van circa 150 mm dikte. In de berekening is verondersteld dat dit een zwak geventileerde spouw is waardoor de luchtlaag en het rieten dak bijdragen aan de thermische isolatie.

3.3.3.4 Onderzoekspunten

Met de software zijn de meest kritische punten van de opengemaakte onderzoeksposities geanalyseerd (zie figuur 2 voor wat betreft een geveldetail).



Figuur 2 Geveldetail onderzoeksposities

3.3.3.5 Rekenscenario's

Binnenklimaatklassen

In onderstaande tabel staat de indeling afgebeeld van binnenklimaatklassen die in Nederland doorgaans wordt aangehouden.

Tabel 3 Binnenklimaatklassen in Nederland

Klimaat-klasse	Vochtproductie	Soort gebouw/bouwwerk	Dampdruk (p_i) [Pa]	Gemiddelde temperatuur (T_{gem}) [°C]	Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (RV_{gem}) [%]
I	Gebouwen met weinig tot geen vochtproductie	Opslagplaatsen van de droge goederen, garages, schuren, kerken, matig gebruikte sport- en gymnastieklokalen	$1030 \leq p_i < 1080$	18	50-52
II	Gebouwen met beperkte vochtproductie en goede ventilatie	Kantoren, winkels (zonder luchtbevochtiging in de winter)	$1080 \leq p_i < 1320$	20	46-56
III	Intens gebruikte gebouwen en ruimte met een matige dampproductie	Woningen, scholen, bejaardentehuizen, verpleeginrichtingen, 24recreatiegebouwen en gebouwen met geringe luchtbevochtiging	$1320 \leq p_i < 1430$	22	50-54
IV	Gebouwen met een hoge dampproductie	Vochtige industriële gebouwen, wasserijen, zwembaden, badinrichtingen, zuivelfabrieken, drukkerijen, textielfabrieken, ruimte met geforceerde luchtbevochtiging	$p_i \geq 1430$	24	> 48

Aangezien dit onderzoek zich richt op woonhuismonumenten is klimaatklasse I niet meegenomen en zijn er berekeningen gemaakt voor de binnenklimaatklassen II t/m IV.

De berekeningen zijn uitgevoerd met de volgende parameterwaarden:

- Buitenzijde: $Re = 0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$, dampdiffusiecoëfficiënt = $4,0 \times 10^{-6} \text{ s/m}$
- Binnenzijde gevels: $Ri = 0,5 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$, dampdiffusiecoëfficiënt = $2,5 \times 10^{-8} \text{ s/m}$
- Binnenzijde daken: $Ri = 0,25 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$, dampdiffusiecoëfficiënt = $2,5 \times 10^{-8} \text{ s/m}$

Regenbelasting

Verder zijn er drie scenario's doorgerekend voor wat betreft regenbelasting voor respectievelijk gevels en daken. De regenbelasting is berekend als een *percentage van de horizontale regenbelasting* op basis van de klimaatdata voor Amsterdam Schiphol. In dit databestand zijn klimaatgegevens verwerkt van de periode tussen 2007-2021 en het bevat de hoogste jaarlijkse horizontale regenbelasting van de drie beschikbaar gestelde klimaatbestanden, zijnde 839 l/m² per jaar). Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de buitentemperatuur, relatieve luchtvochtigheid (buiten) en windrichtingafhankelijke regenbelasting op basis van DIN-EN 12056. Voor de windrichting is hierbij uitgegaan van een zuidoriëntatie van de gevel/dakconstructie (meeste neerslag). Deze oriëntatie heeft alleen invloed op de regenbelasting.

Indeling regenbelasting gevel:

- 0%: geveldelen relatief goed afgeschermd van regen en met goede afwatering;
- 10%: geveldelen die slagregens ontvangen;
- 25%: geveldelen met slechte afwatering, bijvoorbeeld ter plaatse van slecht functionerende lekdorpels.

Indeling regenbelasting dak:

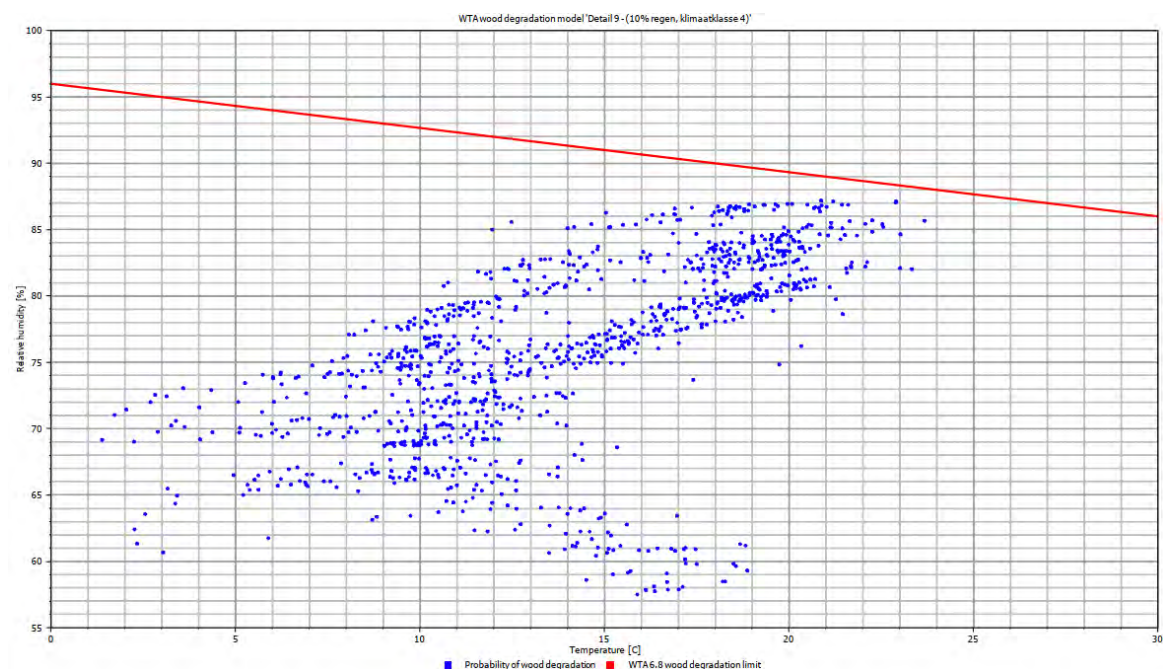
- 0%: goed sluitende en stabiel liggende dakpannen;
- 1%: minimale doorlaat (nevel) door kleine kieren;
- 10%: scheef liggende pannen of pannen die licht beschadigd zijn.

Zoninstraling

Er is geen zonstraling (dus geen opwarming/droging) meegenomen in de berekeningen van de gevel- en dakdetails. Zonstraling leidt tot opwarming van de constructies, waardoor een snellere droging tot stand komt. Het weglaten van zonstraling is naar verwachting een worstcase situatie voor de betreffende constructies.

Berekeningsuitvoer

De berekeningen zijn dynamisch voor vijf achtereenvolgende (repeterende) jaren uitgevoerd. Deze meerjarige analyse is nodig om de jaarlijkse vochtbalans (accumulatie) in de constructies goed in beeld te brengen. De rekenresultaten worden gepresenteerd in een spreidingsdiagram waar de relatieve luchtvochtigheid is uitgezet tegen de temperatuur. In het diagram is op de x-as de binnentemperatuur weergegeven en op de Y-as de relatieve luchtvochtigheid. In het diagram wordt voor iedere dag van de rekenperiode, de dagwaarde geprojecteerd middels een stip waardoor er een puntenwolk ontstaat. In het diagram is ook een rode lijn weergegeven die de grenslijn vormt voor aantasting van houtachtige bouwmaterialen door schimmels. Deze lijn is gebaseerd op WTA-Merkblatt 6-8 en begint vanaf het vriespunt op RV=96% en loopt door tot RV=86% bij 30 °C. Bij langdurige blootstelling aan klimaatcondities op of boven deze grenslijn, kan bij organische bouwmaterialen aantasting door schimmels ontstaan.



Figuur 3 WTA-houtschademodel in Delphin

De berekeningen in Delphin vinden plaats op basis van uurgemiddelde waarden. Verder zijn alle details berekend in twee dimensies (x en y). De Delphin software kan in 3 dimensies (x, y en z) rekenen, maar dat leidt bij de aangehouden rekenperiodes (5 jaar) tot onwerkbaar lange reketijden. Overigens is het in de praktijk raadzaam om bij kwetsbare detailoplossingen (bijvoorbeeld balkoplegging in buitenmuren) een zo gedetailleerd mogelijke berekening (in 3D) te overwegen voor het beoordelen van de risico's. Alle berekeningen worden gestart met de hele detaildoorsnede op een basistemperatuur van 20°C bij een relatieve luchtvochtigheid van 60% (en bijbehorende evenwichtsvochtgehaltes in de bouwmaterialen). Zodra de berekening start is er enige tijd nodig om 'in te slingeren'. Bij veel berekeningen is dan ook te zien dat de eerste weken afwijken van de daarop volgende jaren.

Scenario's

De variabelen voor binnenklimaatklassen (3x) en regenbelastingen (3x) zijn met elkaar gecombineerd en leiden tot een matrix van 9 rekenscenario's (WTA-diagrammen). Deze matrices tonen de resultaten van best-case (binnenklimaatklasse 2 en 0% regen) tot worst-case (binnenklimaatklasse 4 en 25% regenbelasting).

Bij de presentatie van de casussen in hoofdstuk 5 zijn de spreidingsdiagrammen vertaald in vereenvoudigde advies-tabellen (zie tabel 4) waarin is aangeduid of de vochtcondities aanvaardbaar zijn. Hierbij is het risicoprofiel vertaald in vijf gradaties (++ , + , o , - , --). Wanneer de bouwmaterialen op het beoordelingspunt niet kunnen worden aangetast door vocht (bijvoorbeeld volledig steenachtig, of gemodificeerd/verduurzaamd hout) dan zijn er geen negatieve gevolgen voor het materiaal zelf.

Tabel 4 Voorbeeld van de classificatie van de vochtcondities in vijf gradaties.

Beoordelingspositie X	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	o
Binnenklimaatklasse 3	+	o	-
Binnenklimaatklasse 4	o	-	--

3.4 Isolatiesystemen

In dit onderzoek ligt de focus op binnenisolatie, omdat deze wijze van isoleren de grootste bouwfysische risico's met zich meebrengt. Hiervoor zijn verschillende isolatiesystemen en -materialen op de markt. Deze isolatiesystemen kunnen globaal onderverdeeld worden drie methoden^{23, 24, 25}:

- A. Dampdichte systemen;
- B. Hybride systemen;
- C. Dampopen systemen.

3.4.1 Dampdichte systemen

Een dampdicht isolatiesysteem bestaat uit dampdicht isolatiemateriaal of dampopen isolatiemateriaal in combinatie met een dampremmende folie. De dampdichtheid van een materiaal wordt bepaald door het *dampdiffusie-weerstandsgetal* (μ -waarde) en de materiaaldikte. Hoe hoger de dampdiffusieweerstandsgetal en hoe dikker het materiaal, hoe dampdichter het pakket is. Door de μ -waarde van een laag met de laagdikte te vermenigvuldigen wordt de mate van dampdichtheid van die laag bepaald. Dit wordt de *relatieve dampdiffusieweerstand* (*Sd-waarde*) genoemd. Dampdichte isolatiematerialen bestaan veelal uit synthetische schuimen met een hoog dampdiffusie-weerstandsgetal. Als een dampremmende folie wordt toegepast in combinatie met een dampopen isolatiemateriaal dan moet deze aan de vertrekzijde (warme zijde) gepositioneerd zijn en luchtdicht zijn afgewerkt, om te verhinderen van vocht uit de binnenlucht in de constructie kan treden.

²³ Stappers, M. (2023) Meten in situ: hoe en waarom met aandacht voor bouwschade ten gevolge van na-isolatie, in: Duurzaam behoud van massief baksteenmetselwerk in monumenten.

²⁴ Quist, W. (2024). Energetische prestaties van massieve baksteengevels in woonhuismonumenten, syllabus bij het eindsymposium op 20 november 2024 van Monumentenkennis 2019-2024. Delft, TUD, Leuven KUL, Amersfoort, RCE.

²⁵ https://kennis.cultureelerfgoed.nl/index.php/Binnenisolatiesystemen_werking_consequenties_en_aandachtspunten

Vanuit de literatuur is bekend dat in bepaalde gevallen ook interne condensatie in de zomer op kan treden^{26, 27}. Dit is met name bekend van gevels met een dampopen isolatiemateriaal met een dampremmende folie aan de vertrekzijde, waarbij vocht in de zomer neer kan slaan op het grensvlak van gevel en isolatiemateriaal en/of in het isolatiemateriaal.

Zoals eerder beschreven hangt de dampdichtheid van het systeem sterk af van de detaillering. Sluit het dampdichte isolatiemateriaal bijvoorbeeld goed op elkaar aan, of zijn naden aanwezig waardoor vocht alsnog door de constructie kan migreren? Het zelfde geldt voor dampremmende folies: zijn de naden zorgvuldig afgeplakt met speciale tape en is de folie volledig in tact, of is de folie niet of slecht afgeplakt en hier en daar beschadigd?

3.4.2 Zuiver dampopen systemen

Een zuiver dampopen systeem bestaat uit een dampopen isolatiemateriaal, zonder toepassing van een dampremmende folie. Bij dit systeem is een groter risico op interne condensatie aanwezig. Door het ontbreken van een dampremmende laag ontstaat in de winter een vochtstroom door de constructie van binnen naar buiten. Het al dan niet ontstaan van condensatie en de hoeveelheid, is sterk afhankelijk van de interne vochtbelasting, de buitentemperatuur en de duur van die eventueel lage buitentemperatuur.

3.4.3 Dampopen beperkt capillair actieve en capillair actieve systemen

Capillair actieve materialen zijn in staat om water in vloeibare vorm te transporteren. Deze eigenschap wordt ontleend aan heel kleine capillairen – poriën met een diameter van 0,1 tot 1 μm – in het materiaal. Een capillair actief systeem is in staat om vocht op te nemen en her te verdelen over de lijm mortel en het isolatiemateriaal en het vocht weer af te geven als de dampdruk in de binnenruimte daalt. Door de hoge waterabsorptiecoëfficiënt is capillair actief materiaal tevens in staat om water relatief snel op te nemen. Isolatiematerialen die voldoen aan de genoemde eigenschap zijn met name isolatieplaten van minerale oorsprong, zoals calciumsilicaat. Materialen die door fabrikanten vaak aangeprezen worden voor positieve capillair actieve eigenschappen, zoals bepaalde soorten cellenbeton of houtvezelplaat, bezitten in realiteit vaak slechts beperkt capillair actieve eigenschappen²⁸.

Uit onderzoek blijkt dat de meeste capillair actieve materialen minder goed isoleren dan conventionele isolatiematerialen²⁹. Bij capillair actieve binnenisolatiesystemen worden geen dampremmende lagen toegepast; alle lagen in het systeem, dus ook de afwerk lagen, zijn dampopen. Als binnenafwerking komt een dampdoorlatende pleister of minerale verf in aanmerking. Condens dat eventueel ontstaat op het grensvlak van het isolatiemateriaal, lijm mortel en de gevel wordt door het isolatiemateriaal opgezogen en herverdeeld over de lijm mortel en het isolatiemateriaal, waarna aan de binnenzijde droging optreedt. Ook vocht dat van buiten afkomstig is, bijvoorbeeld als gevolg van slagregen kan door een capillair-actief isolatiemateriaal opgenomen en actief afgevoerd worden naar het binnenoppervlak, waar het verdampt in de binnenruimte.

Bij toepassing speelt een goede hechting van de alle capillair actieve isolatiematerialen net als het type van de toegepaste lijm mortel een belangrijke rol in de werking van het systeem. De lijm mortel dient bijvoorbeeld een hogere dampdiffusieweerstand te hebben dan het isolatiemateriaal, zodat in het geval van condensatie de condensatie plaatsvindt op het grensvlak van de lijm mortel en het isolatiemateriaal. Het capillaire isolatiemateriaal is dan in staat om het vocht middels capillaire werking op te nemen en te verdelen³⁰. Een capillair-actieve wijze van isoleren wordt bij een juiste verwerking in het algemeen een veilige isolatiemethode geacht, omdat vochtaccumulatie voorkomen wordt en de constructie in staat blijft om naar beide zijden toe te drogen.

Er zijn ook systemen op de markt die bestaan uit een combinatie van capillair-actief materiaal en een dampdicht isolatiemateriaal. Deze systemen bezitten een dermate verhoogde dampdiffusieweerstand, dat ze niet meer als

²⁶ Steskens, P. et al. (2012) Binnenisolatie van Buitenmuren, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf – WTCB, Brussel, België.

²⁷ Burkinshaw, R., Parret, M. (2002) Diagnosing Damp, The Royal Institute of Chartered Surveyors, Verenigd Koninkrijk.

²⁸ Vereecken, E., Roels, S. (2016) Capillary Active Interior Insulation, a Discussion, Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings Conference, Belgium, 19-21 October 2016.

²⁹ Zhao, J. et al. (2017) Evaluation of capillary-active mineral insulation systems for interior retrofit solution, Building and Environment, 115 (2017) pp. 215-227.

³⁰ Vereecken, E. (2013) Hygrothermal Analysis of Interior Insulation for Renovation Projects, Dissertatie, KU Leuven.

dampopen beschouwd kunnen worden³¹. Recent onderzoek³² toont echter aan dat deze systemen niet per definitie slecht presteren.

3.5 Materialen

De materiaalkeuze wordt onder meer bepaald door de constructie, het isolatiesysteem, de bouwfysische eigenschappen, de brandwerendheid en verwerkbaarheid.

3.5.1 Isolatiematerialen

3.5.1.1 Historie

De isolatiepraktijk in Nederland begint in de eerste helft van de zeventiende eeuw³³. Tot en met de negentiende eeuw was isoleren geen algemene, dagelijkse praktijk, zoals tegenwoordig het geval is. Gebouwen werden slechts incidenteel thermisch geïsoleerd. Dat betrof dan vaak slechts bepaalde delen waarin hoge eisen aan het binnenklimaat werden gesteld. Tot de oudste isolatiematerialen behoren boekweitdoppen, turfmoelm, houtkrullen en vlasafval. Later werden materialen gebruikt als buntgras, zeegras, heide, mos, hennep, hooi, stro, suikerrietstro, hopbellen, cellulose, houtwol, houtvezels, zaagsel, katoen, kokosvezels, kurk, riet, rubber, schelpen en wol. Allemaal natuurlijke (organische) materialen die met de komst van modernere materialen – die vooral met het oog op betere brandwerende eigenschappen werden ontwikkeld – uit beeld raakten. Petrochemische en minerale isolatiematerialen kregen na de oorlog de overhand³⁴, maar tegenwoordig zien we een opleving van de toepassing van natuurlijke materialen die van oudsher gebruikt werden. Dit wordt onder meer veroorzaakt door de toegenomen aandacht voor circulaire materialen. Tevens kunnen deze materialen – beter dan de andere soorten – een rol spelen in de vochtregulatie van een gebouw, wat gunstig is voor de kwaliteit van het leefklimaat en voor het gebouw zelf. Relatief nieuw op de markt zijn extreem isolerende isolatiematerialen, zoals aerogelisolatie³⁵ en vacuümpanelen (VIP)³⁶.

3.5.1.2 Petrochemische materialen

Dit betreft isolatiemateriaal op basis van fossiele grondstoffen en hebben doorgaans een gemiddelde tot hoge isolatiewaarde, hoge dampdiffusieweerstand, lage warmteopslagcapaciteit, lage waterabsorptiecoëfficiënt, hoge vochtbestendigheid en lage tot gemiddelde brandweerstand. Tot deze categorie behoren onder meer: EPS, PIR, PUR, resolschuim en XPS.

3.5.1.3 Minerale materialen

Dit betreft isolatiemateriaal op basis van minerale grondstoffen. Minerale isolatiematerialen hebben doorgaans een gemiddelde isolatiewaarde, lage tot gemiddelde dampdiffusieweerstand, gemiddelde warmteopslagcapaciteit, gemiddelde waterabsorptiecoëfficiënt, hoge vochtbestendigheid en hoge brandweerstand. Tot deze categorie behoren onder meer: aerogel, calciumsilicaat, foamglas, glaswol, perliet, steenwol en vermiculiet.

3.5.1.4 Natuurlijke materialen

Dit betreft isolatiemateriaal op basis van natuurlijke grondstoffen. Natuurlijke isolatiematerialen hebben doorgaans een lage tot gemiddelde isolatiewaarde, lage tot gemiddelde dampdiffusieweerstand, gemiddelde warmteopslagcapaciteit, gemiddelde tot hoge waterabsorptiecoëfficiënt, gemiddelde vochtbestendigheid en gemiddelde brandweerstand. Tot deze categorie behoren onder meer: biofoam, cellulose, hennepwol, houtwol, kalkhennep, kokos, kurk, metisse, schapenwol en vlas.

³¹ Vereecken, E., Roels, S. (2017) Binnenisolatie van muren in historische gebouwen, systemen, risico's en aandachtspunten, WTA conferentie Energetische ingrepen in monumenten een duurzaam verhaal?!, Antwerpen, november 2017.

³² Jensen, N.F. et. al. (2020) Hygrothermal assessment of diffusion open insulation systems for interior retrofitting of solid masonry walls, *Building and Environment*, 182 (2020).

³³ RCE (2012) Historische isolatiematerialen, Gids Cultuurhistorie 24.

³⁴ Somer K en R. Stenvert (2024) Bouwmaterialen 1940-1990. Rotterdam, NAi, p. 215-225.

³⁵ Warmtegeleidingscoëfficiënt in de ordegrootte van 0,014 W/m·K volgens fabrikanten.

³⁶ Warmtegeleidingscoëfficiënt in de ordegrootte van 0,008 W/m·K volgens fabrikanten.

3.5.1.5 Composieten

Composieten bestaan uit een mix van verschillende materiaalsoorten waarbij de isolerende werking deels is gebaseerd op warmtereflectie. Composieten hebben doorgaans een hoge isolatiewaarde, hoge dampdiffusie-weerstand, lage warmteopslagcapaciteit en redelijk lage brandweerstand. Met betrekking tot de waterabsorptie-coëfficiënt en vochtbestendigheid van deze materialen zijn te weinig gegevens bekend om hier een zinvolle classificatie aan te geven. Tot deze categorie behoren onder meer isolatiefolie en thermoskussens.

3.5.1.6 Overzicht eigenschappen

In onderstaand overzicht zijn de prestaties per materiaalsoort samengevat. Het gaat hier om de scores ten opzichte van het gemiddelde van alle isolatiematerialen.

Tabel 5 Prestaties isolatiesoorten ten opzichte van het gemiddelde van alle isolatiematerialen

Materiaal-soort	Isolatie-waarde	Damp-diffusie-weerstand	Warmte-capaciteit	Water-absorptie-coëfficiënt	Vocht-bestendig-heid	Brand-weerstand
Petrochemisch	+	++	--	--	++	-
Mineraal	o	-	o	o	++	++
Natuurlijk	-	-	o	+	o	o
Composiet	++	++	--	?	?	--

++: hoog +: gemiddeld/hoog o: gemiddelde - gemiddeld/laag -- laag

3.5.2 Folies

Hoewel folies geen isolerende eigenschappen bezitten, spelen ze een belangrijke rol in de isolerende werking van een systeem. Dampremmende folies worden bijvoorbeeld toegepast in gevels, aan de vertrekzijde (warme zijde) van de isolatie, om te verhinderen dat vocht uit de lucht in de constructie kan treden en daar kan condenseren. Dampremmende folies zijn leverbaar in diverse gradaties qua dampdiffusieweerstandsgetal (zie Tabel @).

Om het intreden van water in de constructie te voorkomen, worden dampopen folies (Klasse W1 of W2) toegepast. Een typische toepassing is aan de buitenzijde van een dakbeschot. Water dat onder de pannen geraakt, bijvoorbeeld regenwater of smeltend stuifsnieuw, wordt via de folie afgevoerd. Vocht dat in de constructie aanwezig is kan echter wel naar buiten toe drogen via heel kleine gaatjes in de folie.

Om het eerder genoemde risico van het opsluiten van condensvocht te voorkomen, zijn er de afgelopen jaren dampremmende folies ontwikkeld die in staat zijn om in bepaalde gevallen vocht door te laten³⁷. Deze vochtvariabele dampremmende lagen worden aan de vertrekzijde van het isolatiemateriaal aangebracht en laten onder vochtige omstandigheden meer waterdamp door dan onder droge omstandigheden. In de praktijk betekent dit dat deze folie in de winter, als er gestookt wordt, dampdichter is dan in de zomer. Hierdoor is het theoretisch mogelijk om de droging van het gevelsysteem in de zomer te verbeteren, vergeleken met de toepassing van een standaard dampremmende folie. Een voorwaarde hierbij is wel dat er in de ruimte in de zomer geen hoge vochtlast aanwezig is en dat de binnenwandafwerking dampopen uitgevoerd is, bijvoorbeeld op basis van een minerale verf.

3.6 Toepassing in woonhuismonumenten

In het kader van het uitgevoerde onderzoek is onderscheid te maken tussen het na-isoleren van gevels en het na-isoleren van daken. Deze gebouwschildelen kennen een geheel eigen dynamiek en worden hier derhalve afzonderlijk besproken.

³⁷ Künzel H. (1999) Flexible vapour control solves moisture problems of building assemblies – Smart retarder to replace the conventional PE-film. Journal of Building Physics 23: 95-102.

3.6.1 Na-isolatie van gevels

De focus van het onderzoek ligt op gevels die aan de binnenzijde zijn na-geïsoleerd, omdat, zoals reeds toegelicht, met die systemen theoretisch de meeste bouwfysische problemen te verwachten zijn. In het kader van het onderzoek worden hieronder gevels verstaan waarbij:

- A. het isolatiesysteem direct tegen het metselwerk is aangebracht;
- B. een voorzetwand is toegepast waarbij tegen de voorzetwand isolatiemateriaal is aangebracht, met een luchtspouw tussen metselwerk en isolatiemateriaal.

In dit hoofdstuk wordt niet nader ingegaan op na-isolatie van spouwmuren, die vanaf circa 1930 gangbaar werden. De reden hiervoor is dat veel monumentale woonhuizen geen spouwmuur hebben of de spouw niet breed genoeg is (<50 mm) om isolatie in aan te brengen. Tevens is bekend dat spouwisolatie – mits goed uitgevoerd conform de officiële uitvoeringrichtlijnen die hiervoor gelden en de gevelstenen qua samenstelling, conditie en afwerking geschikt zijn – in de meeste gevallen niet tot problemen leidt³⁸.

3.6.2 Na-isolatie van daken

Voor na-isolatie van daken van monumentale woonhuizen is een breed scala aan producten verkrijgbaar. Globaal kunnen de volgende systemen onderscheiden worden:

- A. Zelfdragende isolatieplaten. In veel gevallen is het originele dakbeschot volledig verwijderd en bevinden de monumentale constructiedelen zich aan de warme zijde, waardoor deze bouwfysisch gezien geen risico lopen;
- B. Isolatiemateriaal dat geplaatst wordt tussen dakbedekking en dakbeschot, zoals isolatieplaten of meerlaagse isolatiefolies. In de meeste gevallen wordt hierbij onder de dakbedekking een waterkerende laag opgenomen, die voornamelijk dient voor de afvoer van mogelijk intredend hemelwater;
- C. Isolatiemateriaal dat aangebracht wordt tegen de onderzijde van het dakbeschot. Bij toepassing van een dampopen isolatiemateriaal wordt de binnenzijde voorzien van een dampremmende laag, om interne condensatie in de winter te voorkomen. Op het dakbeschot kan een dampopen folie toegepast worden, die als waterkerende laag fungeert, maar het toelaat dat eventueel vocht in de constructie kan drogen.

3.7 Systeemopbouw

Er zijn verschillende combinaties mogelijk van isolatiesysteem, materialen en toepassingen in monumenten. De keuzemogelijkheden voor wat betreft het isolatiesysteem hangen af van het onderdeel van de thermische schil dat geïsoleerd wordt. Afhankelijk van het gekozen systeem kan er gekozen worden uit materialen die over de vereiste eigenschappen beschikken om in dat systeem te kunnen functioneren. In de RCE-publicatie Na-isolatie van historische woonhuizen is dit uitvoering beschreven³⁹.

Tabel 6 toont een overzicht van de verschillende systemen met de daarbij gangbare isolatiematerialen. Voor deze isolatiematerialen is tevens een indicatie van de isolatiewaarde (warmtegeleidingscoëfficiënt) en dampdoorlaatbaarheid (dampdiffusieweerstandsgetal) gegeven.

³⁸ Meeusen, J. (2006) Na-isolatie van spouwmuren, Faculteit Ingenieurswetenschappen, Universiteit Gent.

³⁹ Stappers, M. (2020) Na-isolatie van historische woonhuizen, wegwijzer voor vakmensen, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, herziene versie 2020.

Tabel 6 Overzicht van de verschillende systemen met de daarbij veel toegepaste materialen (waarden indicatief)

Systeem	Isolatiemateriaal	Warmtegeleidings-coëfficiënt	Dampdiffusieweerstands-getal
		λ [W/m·K]**	μ [-]
Dampdicht	Polyisocyaanat (PIR)	0,026	60
	Polyurethaan (PUR)	0,026	60
	Geëxtrudeerd polystyreen (XPS)	0,030	80
	Isolatiefolie*	0,033	140
Dampopen	Niet capillair actief	Minerale wol (steen, glas)	1,5
		Schapevool	1,5
		Cellulose	1,5
Capillair-actief	Beperkt capillair actief of capillair actief	Calciumsilicaat	3
		Houtvezelplaat***	3
		Cellenbeton***	6

* Bestaande uit meerdere lagen al dan niet reflecterende kunststof folies, met tussenlagen van luchtkussens, wol of schuim. De isolatiewaarde wordt hoofdzakelijk verkregen door de lage emissiecoëfficiënt van de reflecterende lagen. De weergegeven warmtegeleidingscoëfficiënt betreft derhalve een rekenkundige equivalent.

** Warmtegeleidingscoëfficiënt op basis van droog isolatiemateriaal

*** Beperkt capillair actief, vergeleken met calciumsilicaat

4.1 Locaties

Uiteindelijk zijn veertien van de achtentwintig casussen geselecteerd voor nader onderzoek. De reden dat de helft van de aangemelde panden uiteindelijk niet is geselecteerd voor nader onderzoek is meerledig, met als voornaamste redenen:

- De bewoner ziet uiteindelijk af van participatie in het onderzoek;
- Het pand is te recent na-geïsoleerd (korter dan 1 jaar geleden).
- Het pand blijkt in tegenstelling tot de verwachting van de bewoner of eigenaar toch niet na-geïsoleerd te zijn, of aan de buitenzijde van de gebouwschil in plaats van aan de binnenzijde;
- Het pand heeft vergelijkbare eigenschappen als het tevens aangemelde naastgelegen pand.

In onderstaande afbeelding zijn de locaties van de voor onderzoek geselecteerde casussen weergegeven, alsmede per casus een gevelaanzicht. Omwille van privacy zijn de adressen van de panden niet vermeld.



Figuur 4 Overzicht van de onderzochte casussen

In tabel 7 is een overzicht gegeven van de basiskenmerken van de geselecteerde panden. Aangegeven is in welke provincie het pand gelegen is, het type (vrijstaand of geschakeld), een indicatie van het bouwjaar, het jaar waarin de isolatie is aangebracht en het bewonersaantal. Tevens is aangegeven of het een rijksmonument betreft.

Tabel 7 Overzicht van de basisgegevens van de geselecteerde casussen

Casus	Provincie	Type	Bouwjaar (ca.)	Rijks-monument	Jaar na-isolatie	Bewoners (ca.)
1	Noord-Holland	Vrijstaand	1800	Ja	2002	2
2	Utrecht	Vrijstaand	1670	Ja	2008/2009	onbekend
3	Zuid-Holland	Geschakeld	1650	Ja	1992	1
4	Utrecht	Vrijstaand	1920	Nee	2014	4
5	Drenthe	Vrijstaand	1903	Ja	2016/2021	onbekend
6	Drenthe	Vrijstaand	1904	Ja	2003	2
7	Drenthe	Geschakeld	1901	Ja	2006	variabel
8	Gelderland	Vrijstaand	1579	Ja	2013	2
9	Gelderland	Vrijstaand	1907	Ja	2016	4
10	Zeeland	Vrijstaand	1730	Nee	1990/1991	4
11	Noord-Holland	Vrijstaand	1800	Ja	2016	2
12	Noord-Holland	Geschakeld	1650	Ja	2017	4
13	Noord-Holland	Geschakeld	1750	Ja	2016	2
14	Noord-Holland	Vrijstaand	1800	Ja	1993/1994	2

4.2 Toegepaste isolatiemethodiek

Van de veertien onderzochte casussen is van acht panden de dakisolatie onderzocht en van 11 panden de gevelisolatie. In onderstaande tabellen is per casus voor respectievelijk dak (tabel 8) en gevel (tabel 9) aangegeven aan welke zijde isolatie is toegepast, welk isolatiesysteem en welk isolatiemateriaal is toegepast en of er een dampremmende laag aan de binnenzijde (vertrekzijde) aanwezig is. Tevens is in de tabellen aangegeven of de toegepaste methode van isoleren vanuit de theorie gezien correct is. Dat wil bijvoorbeeld zeggen dat bij toepassing van een dampopen isolatiemateriaal aan de warme zijde (vertrekzijde) een dampremmende folie of laag is aangebracht. In bijlage C zijn de opnamelijsten van de casussen opgenomen, met alle basis- en meetgegevens.

Van de toegepaste isolatiemethoden van de daken zijn vanuit de theorie gezien drie van de acht casussen als incorrect geïsoleerd te beoordelen. In die casussen is namelijk geen dampremmende laag aanwezig aan de vertrekzijde van het isolatiemateriaal, of is geen waterkerende laag aangebracht in combinatie met een slechte kwaliteit pandekking (casus 8).

Van de na-geïsoleerde gevels zijn vanuit de theorie gezien twee van de elf casussen als incorrect geïsoleerd te beoordelen. In die casussen is namelijk geen dampremmende laag aanwezig aan de vertrekzijde van het isolatiemateriaal. Theoretisch is het risico op inwendige condensatie dan aanwezig, afhankelijk van de vochtproductie in de ruimte.

Tabel 8 Overzicht dakisolatie per casus (behoudens casus 14 betreft het pangedekte daken)

Dakisolatie					
Casus	Locatie	Systeem	Materiaal	Damprem binnenzijde	Beoordeling*
1	Buitenzijde	Dampdicht	PUR-platen	Ja (alu cacherings, vertrekzijde)	Correct
2	Buitenzijde	Dampdicht	Isolatiefolie (Actis Triso Laine)	Ja (alulagen in folie) ***	Correct
3	Buitenzijde	Dampopen	Steenwoldekens	Nee	Incorrect
4	Binnenzijde	Dampdicht	PIR-platen (Xtratherm)	Ja (2-zijde alu cacherings)	Correct
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	Combinatie	Dampopen	Houtvezel (Pavatex dakplaat + dekens)	Nee	Incorrect
9	-	-	-	-	-
10	Binnenzijde	Dampdicht	Glaswoldekens	Ja (alu cacherings, vertrekzijde)	Correct
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	Binnenzijde	Dampopen	Cellulose (ingeblazen)	Nee	Incorrect
14	Binnenzijde	Vochtvariabel****	Glaswol	Ja	Correct

* Er wordt hier een onderscheid gemaakt in dampdichte en dampopen systemen. Met dampdicht wordt hier bedoeld dat het isolatiesysteem in hoge mate dampremmend is, dus niet noodzakelijk volledig dampdicht.

** Beoordeling ten aanzien van de principe-opbouw. Hiermee is niet gezegd dat in de casus geen bouwtechnische problemen op kunnen treden.

*** Hoewel de damprem zich niet aan de binnenzijde van het materiaal bevindt, is de eerste dampremmende tussenlaag direct na de eerste isolatielaag gepositioneerd. Het potentiële condensatievlak bevindt zich theoretisch meer aan de buitenzijde.

**** Deze folie is dampdoorlatend als deze vochtig is en dampdicht als deze droog is.

Tabel 9 Overzicht gevelisolatie per casus

Gevelisolatie					
Casus	Locatie	Systeem	Materiaal	Damprem binnenzijde	Beoordeling*
1	Binnenzijde	Dampdicht	PUR	Ja (alu cacherings, vertrekzijde)	Correct
2	-	-	-	-	-
3	Binnenzijde	Dampdicht	XPS** (Roofmate CW)	Nee	Correct*
4	Binnenzijde	Dampdicht	Steenwol	Ja (folie met alulaag, vertrekzijde)	Correct
5	Binnenzijde	Dampdicht	PIR (Unilin)	Ja (alu cacherings, vertrekzijde)	Correct
6	Binnenzijde	Dampdicht	Steenwol	Ja (folie met alulagen, vertrekzijde)	Correct
7	Binnenzijde	Dampdicht	PIR (Eurothane G)	Ja (cacherings vertrekzijde)	Correct
8	-	-	-	-	-
9	Binnenzijde	Dampopen	Glaswol	Nee	Incorrect
10	Binnenzijde	Dampdicht	PUR	Nee (PE-folie, buitenzijde)	Correct*
11	Binnenzijde	Capillair actief	Houtvezel (Pavadentro)	Nee	Correct
12	Binnenzijde	Dampdicht	XPS	Nee	Correct*
13	-	-	-	-	-
14	Binnenzijde	Dampdicht	Steenwol	Nee (folie met alulagen, buitenzijde)	Incorrect

* Beoordeling ten aanzien van de principe-opbouw. Hiermee is niet gezegd dat in de casus geen bouwfysische problemen kunnen optreden.

** XPS en PUR zijn relatief dampremmende materialen, zodat meestal geen extra dampremmende laag nodig is.

In dit hoofdstuk worden alle casussen en onderzoeksposities afzonderlijk beschreven en geanalyseerd. De vermelde thermische weerstanden (R-waarden), dampdiffusieweerstanden (Sd-waarden) en vochtmetingen zijn indicatief. De thermische weerstand van de isolatiematerialen en overige materialen waaruit de buitenschil is opgebouwd zijn merk/type afhankelijk. Dit geldt in sterkere mate ook voor de dampdiffusieweerstand, waarbij de toegepaste dampremmende folies en muurverf een sterke invloed kunnen hebben. De exacte samenstelling hiervan is niet goed vast te stellen. Daarom geldt voor beide parameters een onbekende bandbreedte in de opgegeven waarden. Omdat de vochtmetingen uitgevoerd zijn in de oppervlaktelaag geeft de uitgevoerde meting geen informatie over het vochtgehalte in de kern.

5.1 Casus 1

Deze casus betreft een vrijstaand woonhuis (smalle spouw tussen naastgelegen panden) in de binnenstad met een matige bezonning en beschaduwing en matige tot hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 27 januari 2022 uitgevoerd en in dit pand is de dakisolatie onderzocht van de kapverdieping (slaapkamer) en de gevelisolatie van de badkamer.

5.1.1 Dakisolatie

5.1.1.1 Algemeen

Het pannendak is in 2002 dampdicht geïsoleerd aan de buitenzijde met 60 à 80 mm PUR-platen voorzien van dampremmende aluminium cachering aan de binnenzijde. De dakpannen sluiten slecht aan, zodat inwatering aannemelijk is bij regen en wind. Op het isolatiemateriaal is een (vermoedelijk dampopen) folie aanwezig. Ter plaatse van de kopgevel is tussen de houten balken isolatiemateriaal aangebracht.

5.1.1.2 Resultaten dakisolatie

De onderzochte positie bevindt zich op de hoek van de voorgevel-dakaansluiting.

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_{ϵ} [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,95	7,5 (7,3/0,2)*	Kapverdieping, hoek zuidwest	Slaap- en speelkamer	Hoekmuurplaat-gordingeind-strijkbalk-voorgevel	Hoog	Ja	8/18

* Tussen haakjes de relatieve dampdiffusieweerstand opgesplitst naar de Sd-waarde van respectievelijk de warme (inclusief isolatielaag) en koude zijde.

Vochtmetingen



Figuur 5 Houtvochtgehalte op verschillende posities

Waarnemingen

- Kwaliteit van dakpannen matig en pannen sluiten slecht aan, inwatering aannemelijk;
- Materiaalvochtgehalte van het spant ter hoogte van de muurplaat: circa 21-25% (verhoogd risico op schimmelgroei);
- Muurplaat ingerot vanaf gevelzijde, vochtig;
- Onderzijde spantbeen verhoogd vochtgehalte;
- Dakbeschot schoon, geen sporen van water/condens;
- Ter plaatse van voorgevel uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.

Analyse

De vermoedelijke oorzaak van dit vochtprobleem is vochtopname van de voorgevel (regenwater) en mogelijk ook inwatering via de verholten goot. Dit is geen zeldzaam probleem bij dit soort panden. Er zijn geen vochtproblemen gesignaleerd die direct te relateren zijn aan de dakisolatie. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.

Bouwfysische berekening

Voor deze dakpositie is geen bouwfysische berekening gemaakt, omdat de isolatieopbouw vanuit de theorie gezien als bouwfysisch correct wordt beschouwd

5.1.2 Gevelisolatie

5.1.2.1 Algemeen

De metselwerk gevel is in 2002 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 60 mm PUR-platen voorzien van een dampremmende aluminium cacherings aan de binnenzijde. In theorie is dit een correcte isolatiemethode. De isolatieplaat is vrijgehouden van het metselwerk en de binnenwand. De binnenwand bestaat uit een cementplaat met daartegen tegels.

5.1.2.2 Resultaten gevelisolatie

De onderzochte positie bevindt zich in de badkamer op de eerste verdieping (zuidgevel).

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_{ζ} [$\text{m}^2\text{K/W}$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}\text{C}$]
3,06	6,5 (4,1/2,4)	Gevel 1 ^{ste} verdieping (Z)	Badkamer	Balkeind met oplegging in metselwerk	Laag	Ja	8/15

Vochtmetingen



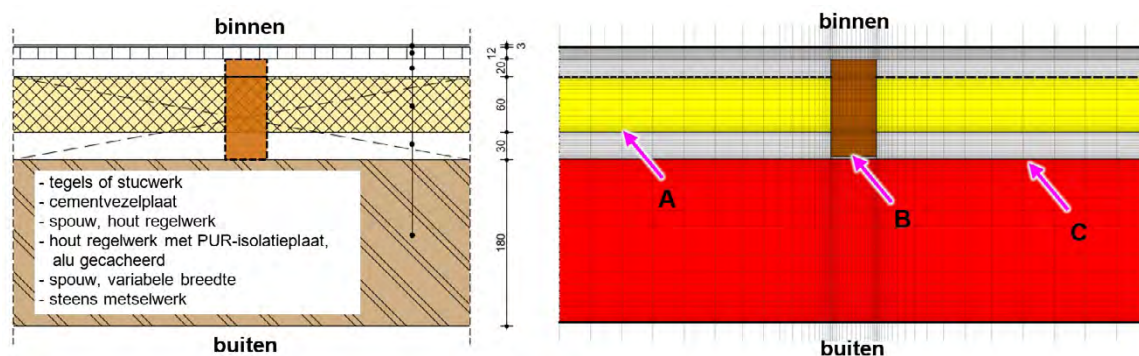
Figuur 6 Houtvochtgehalte op verschillende posities

Waarnemingen

- Een deel van de vloerbalk is ingerot ter hoogte van de douchebak.
- Vochtinwerking regelwerk achter cementplaat. De schroeven in cementplaat en het regelwerk vertonen corrosie op vloerniveau. Vermoedelijk als gevolg van douchewater via voegen in het tegelwerk.
- Het uitgenomen isolatiemateriaal is schoon en vertoont geen tekenen van vochtinwerking.
- Condensdruppels zichtbaar op hout gootklos direct na openmaken constructie. Gootklos steekt door metselwerk heen, buitenzijde afgezaagd.
- Gootklos vochtig (materiaalvochtgehalte ca. 26%)
- Het voegwerk van de gevel is in slechte staat.
- De gevel is niet gehydrofobeerd.
- Geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd.
- Hemelwater dat tussen de pannen door de onderliggende dakfolie bereikt, stroomt mogelijk af langs gevel. Goot sluit aan op pannen, mogelijk niet op dakbeschot met isolatiepakket.
- Metselwerk vermoedelijk langdurig vochtig door beperkte doorwarming a.g.v. isolatie binnenzijde.

Analyse

In de constructie zijn meerdere aanwijzingen zichtbaar dat zich vochtproblemen voordoen of voorgedaan hebben. Uit informatie van de bewoner is bekend dat de badkamer tijdelijk niet in gebruik is in verband met een lekkage die optreedt na dat de douche gebruikt wordt. Ter plaatse van het isolatiemateriaal zijn geen sporen van vochtinwerking aanwezig. Ook laten indicatieve metingen aan de balk - die door de isolatie heen steekt en in het metselwerk is opgelegd - geen verhoogd vochtgehalte zien. Als gevolg van de aanwezige isolatie ontstaat vermoedelijk een verminderde droging van het metselwerk. Dit resulteert echter niet in zichtbare vorstschade, algen of mosgroei. Door de aanwezige dakoverstek is de mate van slagregenbelasting voor die positie dan ook als laag in te schatten. De geconstateerde vochtproblemen zijn vermoedelijk niet het gevolg van het aangebrachte isolatiemateriaal en zijn niet toe te wijzen aan de toegepaste wijze van isoleren. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.



Figuur 7 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in figuur hierboven).

- A. Dit betreft de buitenste zone van de PU-isolatie;
- B. Dit betreft de buitenste zone van de houten stijlen;
- C. Dit betreft de binnenste zone van het baksteen buitenspouwblad, grenzend aan de spouw.

Vochtcondities bij buitengrenslaag PU-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	+
Binnenklimaatklasse 3	++	++	0
Binnenklimaatklasse 4	+	+	-

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met hoge vochtbelastingen kan de relatieve luchtvochtigheid bij de PU-isolatie oplopen tot ca 93%. De PU-isolatie is echter ongevoelig voor hoge relatieve luchtvochtigheden waardoor dit materiaal bij geen van de berekende scenario's zal worden aangetast. Eventuele vochtgevoelige afwerkingen (cacheringen) van de PU-plaat moeten worden voorkomen.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten stijlen

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	++
Binnenklimaatklasse 3	++	++	+
Binnenklimaatklasse 4	++	+	-

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. De houten stijlen in deze constructie zijn bij hoge regenbelastingen gevoelig voor aantasting door de hoge luchtvochtigheid (RV tot 87%). Indien hoge regenbelastingen niet kunnen worden voorkomen, dan is het belangrijk om de houten constructiedelen in deze constructie verduurzaamd uit te voeren.

Vochtcondities bij buitengrenslaag baksteen.

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	-
Binnenklimaatklasse 3	+	+	--
Binnenklimaatklasse 4	+	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Uit de analyse blijkt dat de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de baksteenwand, bij hoge regenbelasting kan oplopen tot ca 97%. Deze spouwzijde van baksteenwand is in principe ongevoelig voor hoge luchtvochtigheid. Eventuele vochtgevoelige verontreinigingen aan het oppervlak van de baksteenwand (b.v. restanten van oude wandafwerkingen) dienen te worden verwijderd als er sprake is van hoge vochtbelasting.

5.2 Casus 2

Deze casus betreft een vrijstaand woonhuis, landelijk gelegen met veel bezonning, matige beschaduwing en een matige tot hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 24 februari 2022 uitgevoerd en in dit pand is de dakisolatie onderzocht op twee posities, namelijk aan de voorzijde (buitenkant) en aan de achterzijde (binnenkant).

5.2.1 Algemeen

Het pannendak is in 2008/2009 dampdicht geïsoleerd aan de buitenzijde met 24 mm meerlaagse isolatiefolie (Actis Triso Laine MAX) met dampremmende eigenschappen. De isolatiefolie bestaat in feite uit een aantal lagen kunststoffolie, schapenwol en aluminiumfolie. De naden van de foliebanen zijn aan de bovenzijde met tape aan elkaar geplakt.

5.2.2 Resultaten dakisolatie voorzijde

Op deze onderzoekspositie is het dak aan de voorzijde aan de buitenzijde open gemaakt.

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
6,32	143 (143/0)	Voorgevelzijde (WNW) boven entree	Zolder, opslagruimte	Kap-constructie	Laag	Nee	11/16

* De hoge R_c -waarde wordt voornamelijk veroorzaakt door de isolatiewaarde van de isolatiefolie. Omdat isolatiefolie een ander werkingsprincipe heeft dan andere isolatiematerialen is de R -waarde een rekenkundige equivalent. Er is geen kwaliteitsverklaring van dit materiaal beschikbaar en daarom is uitgegaan van de opgave van de fabrikant, die hiervoor een isolatiewaarde hanteert vergelijkbaar met 244 mm minerale wol. In hoeverre deze waarde correct is kan niet worden vastgesteld.

Vochtmetingen

Op deze positie zijn geen vochtmetingen uitgevoerd.



Figuur 8 Aanzicht opengemaakte constructie aan de west-noordwestzijde

Waarnemingen

- Het dakbeschoot is droog. Geen condensatie in of onder de isolatiefolie aangetroffen. De tape waarmee de folie aan elkaar gezet is hecht niet volledig meer, inwatering in het isolatiemateriaal is aannemelijk als hemelwater onder de pannen treedt, bijvoorbeeld bij regen i.c.m. sterke wind, smeltend stuifsnegew of ter plaatse van beschadigde of verschoven pannen;
- Isolatie lijkt nat te zijn geweest (verkleuring van de wollagen);
- Sporen van vocht op dakbeschoot (mogelijk nog van voor aanbrengen isolatie);

- Folie gekneld tussen dakbeschot en tengellatten;
- Er zijn relatief (te) dunne tengellatten aangebracht en door het “opbollen” van de isolatiefolie, komt de isolatiefolie tegen de onderzijde van de panlat en is er onvoldoende vrije ventilatie ruimte over tussen panlat en folie;
- De dakpannen sluiten deels matig aan, zodat inwatering aannemelijk is bij regen in combinatie met wind.



Figuur 9 De tape waarmee de foliebanen aan elkaar zijn geplakt laat plaatselijk los, waardoor geen sprake is van een dampdicht systeem.

Analyse

De verkleuring van de isolatiefolie duidt erop dat deze nat is geweest. Dit kan het gevolg zijn van inwatering via de dakpannen en de posities waar de tape los zit, waardoor water tussen isolatiefolie en dakbeschot kan komen. Ook kan condensatie in het materiaal ontstaan zijn, doordat via de naden vermoedelijk waterdamp in het materiaal kan komen. Het isolatiemateriaal in deze toepassing heeft een hoge intrinsieke dampdiffusieweerstand door de opbouw bestaande uit meerdere lagen folie. In theorie is dit een correcte isolatiemethode, als de naden van de folie dampdicht aangebracht worden.

Doordat de folie gekneld is aangebracht middels de tengellatten, is de isolatiefolie lokaal samengedrukt. Hierdoor is te verwachten dat de isolatiewaarde op die posities sterk verminderd is.

Bouw fysische berekening

Voor deze dakpositie is geen bouw fysische berekening gemaakt, omdat de isolatieopbouw vanuit de theorie gezien als bouw fysisch correct wordt beschouwd.

5.2.3 Resultaten dakisolatie achterzijde

Op deze onderzoekspositie is de binnenzijde van de kap onderzocht aan de achterzijde van het pand.

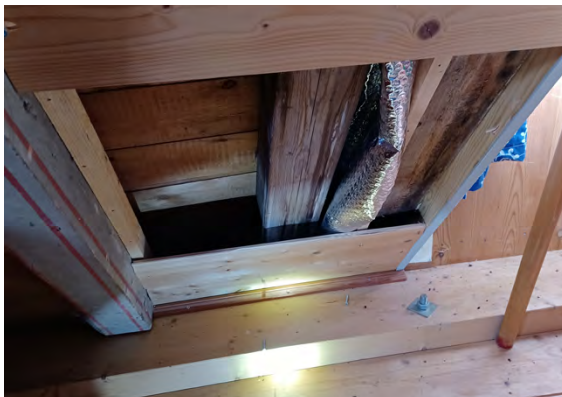
Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bi}/T_{bo} [$^{\circ}C$]
6,46 *	146 (146/0)	Achter- gevelzijde (OZO)	Slaapkamer	Kap-constructie	Laag	Nee	11/16

* De hoge R_c -waarde wordt voornamelijk veroorzaakt door de isolatiewaarde van de isolatiefolie. Omdat isolatiefolie een ander werkingsprincipe heeft dan andere isolatiematerialen is de R -waarde een rekenkundige equivalent. Er is geen kwaliteitsverklaring van dit materiaal beschikbaar en daarom is uitgegaan van de opgave van de fabrikant, die hiervoor een isolatiewaarde hanteert vergelijkbaar met 244 mm minerale wol. In hoeverre deze waarde correct is kan niet worden vastgesteld.

Vochtmetingen

Op deze positie zijn geen vochtmetingen uitgevoerd.



Figuur 10 Aanzicht opengemaakte constructie aan de oost-zuidoostzijde

Waarnemingen

- Het dakbeschot; de muurplaat, de daksporen en spanten zijn droog (visueel beoordeeld).
- Leksporen zichtbaar aan sporen, vermoedelijk als gevolg van inwatering van vóór het aanbrengen van de isolatie.
- Er zijn geen actieve lekkages aangetroffen.

Analyse

De onderzochte positie vertoont aan de binnenzijde geen sporen die kunnen duiden op bouwfysische randverschijnselen zoals condens, als gevolg van de aangebrachte isolatie op het dakbeschot. Het isolatiemateriaal in deze toepassing heeft een hoge intrinsieke dampdiffusieweerstand door de opbouw bestaande uit meerdere lagen folie. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.

Bouwfysische berekening

Voor deze dakpositie is geen bouwfysische berekening gemaakt, omdat de isolatieopbouw vanuit de theorie gezien als bouwfysisch correct wordt beschouwd.

5.3 Casus 3

Deze casus betreft een appartement in een geschakeld woonhuis in de binnenstad met veel bezonning, matige beschaduwing en hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 14 maart 2022 uitgevoerd en in dit pand is de dakisolatie onderzocht en op twee posities de gevelisolatie, namelijk in de badkamer en de keuken.

5.3.1 Dakisolatie

5.3.1.1 Algemeen

Het pannendak is in 1992 dampopen geïsoleerd aan de buitenzijde met 85 mm steenwoldekens zonder gebruikmaking van een dampremmende folie.

5.3.1.2 Resultaten dakisolatie

Ter plaatse van een voormalige rookgasafvoer is het dak aan de binnenzijde geopend.

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$\text{m}^2\text{K/W}$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}\text{C}$]
2,52	0,9 (0,7/0,2)	Kap-verdieping ZO-zijde	Woonkamer	Dak achter sporen	Hoog	Ja	8/20

Vochtmetingen

Op deze positie zijn geen vochtmetingen uitgevoerd.



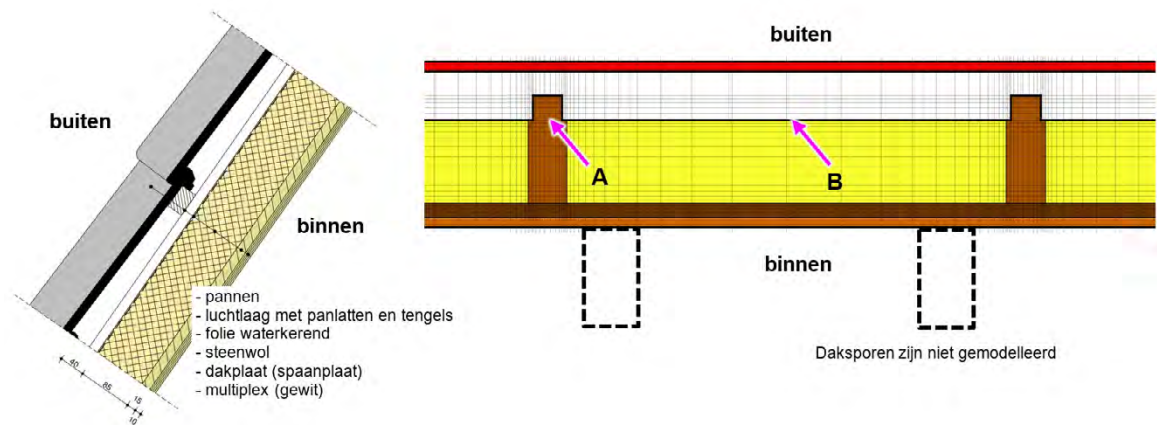
Figuur 11 Aanzicht opengemaakte constructie

Waarnemingen

- Geen vochtinwerking geconstateerd, constructie is droog.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en plaatmateriaal zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.

Analyse

Door het ontbreken van een dampremmende laag aan de binnenzijde kan deze wijze van isoleren als onveilig beoordeeld worden. Het risico op condensatie is echter laag door de lage dampdiffusieweerstand van de waterkerende laag, in combinatie met ventilatie onder de pannen. Damptransport is mogelijk en droging vindt plaats aan de buitenzijde. De toegepaste multiplex aan de binnenzijde kan daarnaast in de praktijk een hoge relatieve dampdiffusieweerstand bezitten.



Figuur 12 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur).

A. Dit betreft de buitenste zone van de stijlen, op het contactvlak met het waterkerende folie onder de tengels.

B. Dit betreft de buitenste zone van de steenwol, onder het dampopen waterkerende folie

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten sporen

Beoordelingspositie A	0% - regen	1% - regen	10% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	++
Binnenklimaatklasse 3	++	++	++
Binnenklimaatklasse 4	++	++	++

Voor de houten sporen zijn er geen bijzonderheden te verwachten.

Vochtcondities bij buitengrenslaag glaswol-isolatie

Beoordelingspositie B	0% - regen	1% - regen	10% - regen
Binnenklimaatklasse 2	-	-	-
Binnenklimaatklasse 3	--	--	--
Binnenklimaatklasse 4	--	--	--

Omdat de dakconstructie niet is uitgevoerd met een dampremmende folie is het mogelijk dat er bij hoge binnenluchtvochtigheden toch condensatie op het buitenste (waterkerende) folie ontstaat. De hygrische condities bij de grenslaag van de glaswol op het waterkerende folie zijn gunstig voor het ontstaan condensatie.

Doordat de betreffende bouwmaterialen (glaswol en waterkerend folie) ter plaatse niet gevoelig zijn voor vocht en geen voedingsbodem bieden voor schimmels, zijn de risico's beperkt. Bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn.

5.3.2 Gevelisolatie

5.3.2.1 Algemeen

De gepleisterde metselwerk gevel is in 1992 aan de binnenzijde geïsoleerd met 40 mm XPS-platen zonder toepassing van een dampremmende folie.

5.3.2.2 Resultaten gevelisolatie badkamer

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
1,74	6,3 (3,3/3,1)	NW-zijde	Badkamer	Gevel badkamer	Matig	Ja	8/20

Vochtmetingen

Op deze positie zijn geen vochtmetingen uitgevoerd.



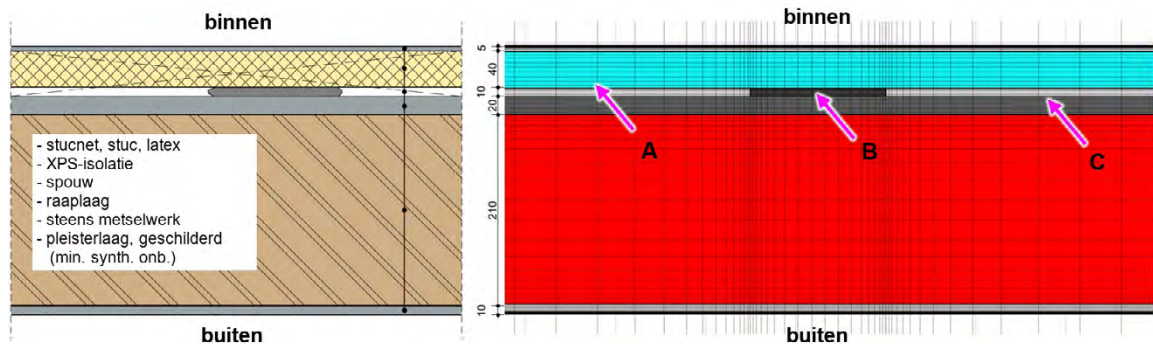
Figuur 13 Aanzicht opengemaakte constructie

Waarnemingen

- Gevel is niet gehydrofobeerd en er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting aan het buitenblad geconstateerd. De kwaliteit van de gepleisterde gevelsteen is niet bekend.
- Geen sporen van condensatie of vochtinwerking geconstateerd.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en stuclaag zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.

Analyse

XPS is van zichzelf relatief dampremmend. In combinatie met de met latex afgewerkte pleisterlaag aan de binnenzijde, is het niet aannemelijk dat in deze situatie interne condensatie optreedt. Hierbij speelt mee dat de badkamer relatief kortdurende piekbelastingen kent, waarbij de hoeveelheid vrijkomend vocht grotendeels wordt afgevoerd middels een mechanisch ventilatiesysteem. In theorie is dit een correcte isolatiemethode, aangezien XPS (40 mm) van zichzelf relatief dampdicht is.



Figuur 14 Bouwfysische berekening

Onderzochte maatgevende posities

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur).

- A. Dit betreft de buitenste zone van de XPS-isolatie, grenzend aan de spouw.
- B. Dit betreft de buitenste zone van de lijm-mortel op het grensvlak met de raaplaag.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitenspouwblad (raaplaag), grenzend aan de spouw.

Vochtcondities bij buitengrenslaag XPS-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	0
Binnenklimaatklasse 3	+	+	-
Binnenklimaatklasse 4	+	0	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. XPS bouwplaten zijn vochtongevoelig waardoor er redelijkerwijs geen problemen te verwachten zijn. Bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast.

Vochtcondities bij lijm-mortel

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	-
Binnenklimaatklasse 3	0	0	--
Binnenklimaatklasse 4	-	-	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. De lijm/mortel waar de XPS-bouwplaten mee worden gefixeerd is relatief ongevoelig, waardoor er redelijkerwijs geen problemen te verwachten zijn. Bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	-
Binnenklimaatklasse 3	o	o	--
Binnenklimaatklasse 4	o	-	--

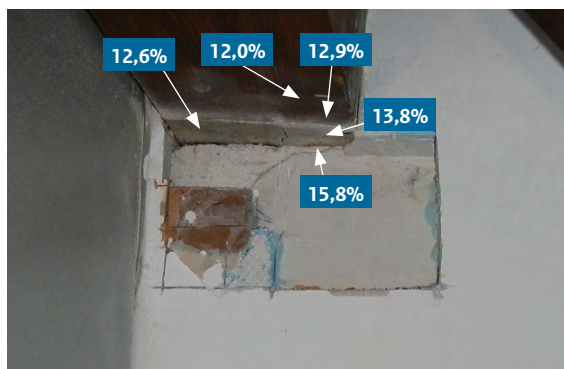
Uit de analyse blijkt dat de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de raaplaag langdurig hoog is bij het rekenaarsscenario met de hoogste vochtbelasting. Er is sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenaarsscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn. Deze spouwzijde van baksteenwand is in principe ongevoelig voor hoge luchtvochtigheid. Eventuele vochtgevoelige verontreinigingen aan het oppervlak van de raaplaag (b.v. restanten van oude wandafwerkingen) dienen te worden verwijderd als er sprake is van hoge vochtbelasting.

Resultaten gevelisolatie keuken

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_e [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
1,75	6,4 (3,3/3,1)	Kapverdieping	Open keuken in woonkamer	Gevel ZW-zijde t.p.v. gording door isolatie	Hoog	Ja	8/20

Vochtmetingen



Figuur 15 Houtvochtgehalte op verschillende posities

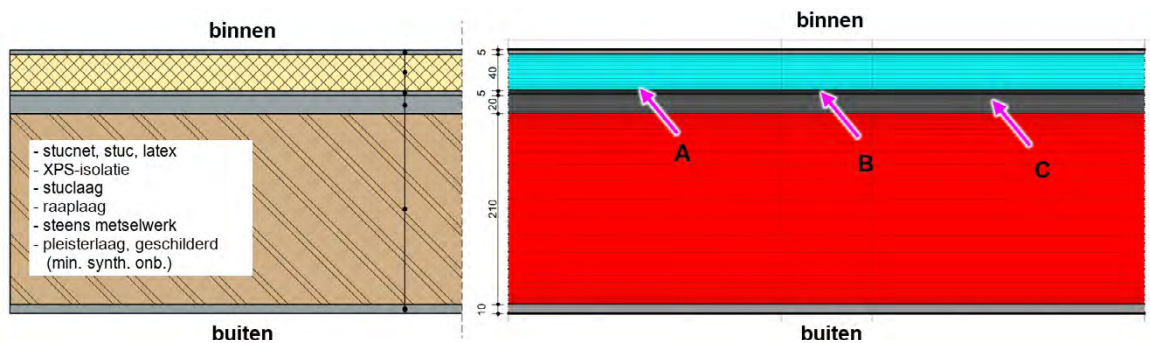
Waarnemingen

- Geen sporen van condensatie of vochtinwerking geconstateerd, droog.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en stuclaag zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Materiaalvochtgehalte balk varieert van ca. 12% ter plaatse van de binnenlucht tot ca. 16% daar waar de balk in het metselwerk opgelegd is.
- Buitenzijde van de gevel niet geïnspecteerd in verband met toegankelijkheid.
- Kleine spleet tussen balk en gipsplaat.

Analyse

Het materiaalvochtgehalte toont een duidelijk verloop, waarbij een toename waarneembaar is naarmate de meetpositie zich meer naar buiten toe bevindt. De balk is opgelegd in een geveldeel dat op het zuidwesten georiënteerd is. Een hoge slagregenbelasting is derhalve aannemelijk, omdat de aanwezige isolatie droging naar de binnenzijde belemmert, kan dit nadelig zijn voor de balkkop. Het feit dat door de isolatie tijdens het stookseizoen de warmtestroom naar het metselwerk toe verminderd is, zorgt aanvullend voor een verminderde droging. Het gevelmetselwerk wordt hierdoor kouder, waardoor de droging naar buiten vermindert, als gevolg van de lagere

buitenoppervlaktetemperatuur. Of deze situatie op termijn daadwerkelijk nadelig is voor het behoud van de balkkop, is op grond van de gedane constatering niet te beoordelen. In theorie is dit een correcte isolatiemethode voor de wand, aangezien XPS (40 mm) van zichzelf relatief dampdicht is. Daar de balkkop echter als thermische brug werkt en een kleine spleet zichtbaar is naast de balk, is tijdens lage buitentemperaturen het ontstaan van condens door convectief damptransport vanuit de binnenruimte niet uit te sluiten. Het blootgelegde deel van de balk was echter in een goede staat.



Figuur 16 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur).

- A. Dit betreft de buitenste zone van de XPS-isolatie.
- B. Dit betreft de stuclaag (tussen de XPS en raaplaag).
- C. Dit betreft de binnenste zone van de raaplaag.

Vochtcondities bij buitengrenslaag XPS-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	o
Binnenklimaatklasse 3	o	o	--
Binnenklimaatklasse 4	-	--	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. XPS bouwplaten zijn vochtongevoelig waardoor er redelijkerwijs geen problemen te verwachten zijn. Er is sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast.

Vochtcondities bij stuclaag

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	o	o	--
Binnenklimaatklasse 4	o	-	--

De stuclaag waarmee de XPS-bouwplaten worden gefixeerd op de raaplaag is relatief ongevoelig voor vocht, waardoor er redelijkerwijs geen problemen te verwachten zijn. Er is sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast.

Vochtcondities bij raaplaag

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	-
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	o	-	--

Uit de analyse blijkt dat bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting, de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de raaplaag langdurig hoog is tot ca 97%. Er is sprake van enige vochtopbouw maar dit blijkt bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast.

5.4 Casus 4

Deze casus betreft een vrijstaand woonhuis in een stedelijke omgeving met matig tot veel bezonning, matige beschaduwing en hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 16 maart 2022 uitgevoerd en in dit pand is de dakisolatie onderzocht en de gevelisolatie in de woonkamer, in een slaapkamer en op zolder.

5.4.1 Dakisolatie

5.4.1.1 Algemeen

Het pannendak is in 2014 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 60 mm PIR-platen (Xtratherm) voorzien van dampremmende cacherings aan twee zijden.

5.4.1.2 Resultaten dakisolatie

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,57	6,7 (3,7/3,0)	2 ^{de} verd., straatzijde (O)	Badkamer	Isolatieplaat tegen gording	Hoog	Ja	10/18

Vochtmetingen



Figuur 17 Houtvochtgehalte op verschillende posities

Waarnemingen

- Lekkagesporen t.p.v. dak. Ook zichtbaar in de tweede badkamer. Vermoedelijk niet t.g.v. isolatiewijze. Naar verluidt betreft het inwatering door verschoven pannen of losliggend lood.
- Constructie is droog.
- Geen sporen van condensatie of schimmel (afgezien van oude lekposities).
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Materiaalvochtgehalte hout normaal.
- Onbekend of folie aanwezig is onder pannen.

Analyse

De zichtbare vochtvlek op de binnenafwerking (zie figuur 10) is hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door een eerdere lekkage, vermoedelijk inwatering. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.

Bouwphysische berekening

Voor deze dakpositie is geen bouwphysische berekening gemaakt, omdat de isolatieopbouw vanuit de theorie gezien als bouwphysisch correct wordt beschouwd.

5.4.2 Gevelisolatie

5.4.2.1 Algemeen

De metselwerk gevel is in 2014 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 40 mm steenwol, met een dampremmende folie (met aluminiumlaag) aan de vertrekzijde en een dampopen folie aan de metselwerkzijde. Tussen het metselwerk en het isolatiemateriaal is een luchtspouw aanwezig. De gevel is niet gehydrofobeerd.

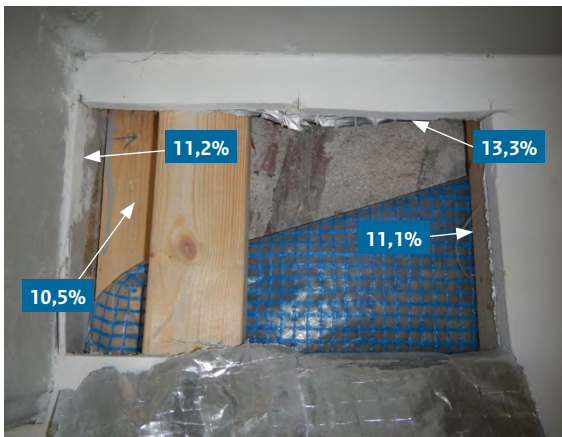
5.4.2.2 Resultaten gevelisolatie woonkamer

Op deze positie is een houten regelwerk toegepast, waartussen isolatiemateriaal is geplaatst.

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
1,43	13,2 (10,1/3,1)	Begane grond, noordgevel	Woonkamer/ keuken	In metsel-werk opgelegde vloerbalk	Hoog	Ja	10/20

Vochtmetingen



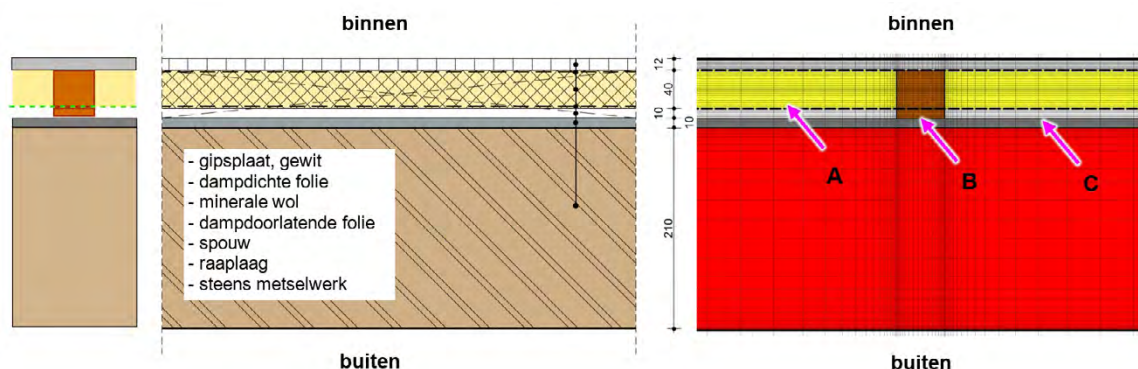
Figuur 18 Houtvochtgehalte op verschillende posities

Waarnemingen

- Er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd
- De constructie en het aanwezige isolatiemateriaal zijn droog.
- Geen sporen van condensatie of schimmel.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Materiaalvochtgehalte hout is normaal.
- Toepassing van houten regelwerk, waardoor tussen metselwerk en isolatielaag een luchtspouw gecreëerd is.

Analyse

Door de aanwezige dampremmende folie aan de vertrekzijde van het isolatiemateriaal is deze isolatiewijze vanuit de theorie gezien als correct te beoordelen. De uitvoeringskwaliteit is in een dergelijke situatie bepalend voor de (lange termijn) dampremmendheid van de aanwezige folie, waardoor een vochtstroom vanuit de ruimte naar het isolatiemateriaal onderbroken wordt. Een indicatieve vochtmeting in de balk ter hoogte van het isolatiemateriaal toont dat het hout droog is (materiaalvochtgehalte 11,2%, zie afbeelding hierboven). Het optreden van condensatie is in dit geval derhalve niet aannemelijk.



Figuur 19 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. Dit betreft de buitenste zone van de minerale wol tegen de dampdoorlatende folie.
- B. Dit betreft de houten rachels in het contactvlak met de raaplaag.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitenspouwblad (raaplaag), grenzend aan de luchtlaag.

Vochtcondities bij buitengrenslaag minerale wol

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	o	-	-
Binnenklimaatklasse 3	--	--	--
Binnenklimaatklasse 4	--	--	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage interne vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting is er sprake van enige vochtopbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn. Minerale wol is vochtongevoelig waardoor er redelijkerwijs geen problemen te verwachten zijn. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten stijlen/rachels

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	o
Binnenklimaatklasse 3	++	++	o
Binnenklimaatklasse 4	++	++	o

Uit de analyse blijkt dat de houten stijlen in deze constructie bij hoge regenbelastingen gevoelig zijn voor aantasting. Indien hoge regenbelastingen niet kunnen worden voorkomen, dan is het belangrijk om de houten constructiedelen in deze constructie verduurzaamd uit te voeren. Vanwege de dampremmende folie zijn deze constructiedelen nauwelijks gevoelig voor hoge interne vochtbelastingen.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	++	+	--

Uit de analyse blijkt dat de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de baksteenwand kan oplopen tot ca 97%. Er is sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn. Deze spouwzijde van baksteenwand is in principe ongevoelig voor hoge luchtvochtigheid. Eventuele vochtgevoelige verontreinigingen aan het oppervlak van de raaplaag (b.v. restanten van oude wandafwerkingen) dienen te worden verwijderd als er sprake is van hoge vochtbelasting.

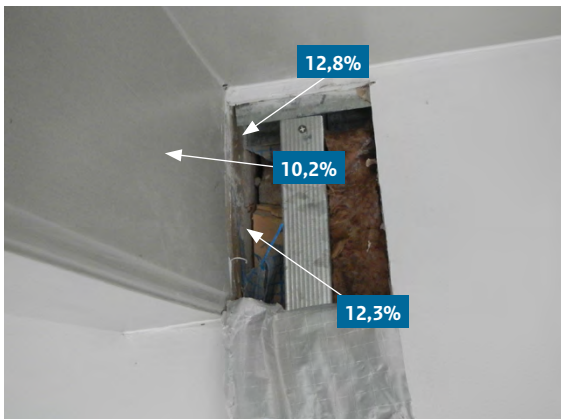
5.4.2.3 Resultaten gevelisolatie slaapkamer

In tegenstelling tot de positie in de woonkamer, is hier in plaats van een houten regelwerk een metalstudwand toegepast, waartussen het isolatiemateriaal is geplaatst.

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_{t} [$\text{m}^2\text{K/W}$]	S_{d} [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	$T_{\text{bu}}/T_{\text{bi}}$ [$^{\circ}\text{C}$]
1,43	13,2 (10,1/3,1)	1 ^{ste} verd. NO-zijde	Slaapkamer	Vloerbalk door isolatie	Hoog	Ja	10/18

Vochtmetingen



Figuur 20 Houtvochtgehalte op verschillende posities

Waarnemingen

- Er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd
- De constructie en het aanwezige isolatiemateriaal zijn droog.
- Geen sporen van condensatie of schimmel geconstateerd.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Materiaalvochtgehalte houten balk is normaal.
- Toepassing van metalstudwand.

Analyse

Ook op deze positie zijn geen waarnemingen gedaan die kunnen wijzen op bouwfysische randverschijnselen zoals het (periodiek) ontstaan van condens. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.

Bouwfysische berekening

Voor deze gevelpositie is geen bouwfysische berekening gemaakt. De situatie is nagenoeg hetzelfde als de gevelisolatie van de zolder (zie hieronder), zij het dat de luchtspouw hier 10 mm bedraagt in plaats van 30 mm.

5.4.2.4 Resultaten gevelisolatie zolder

Evenals in de slaapkamer is hier een metalstudwand toegepast, waartussen het isolatiemateriaal is geplaatst.

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
1,43	13,2 (10,1/3,1)	Zolder, westzijde	Wasruimte	Blokkeel/isolatie	Matig	Ja *	10/18

* Indirect verwarmd door aanwezige cv-ketel

Vochtmetingen



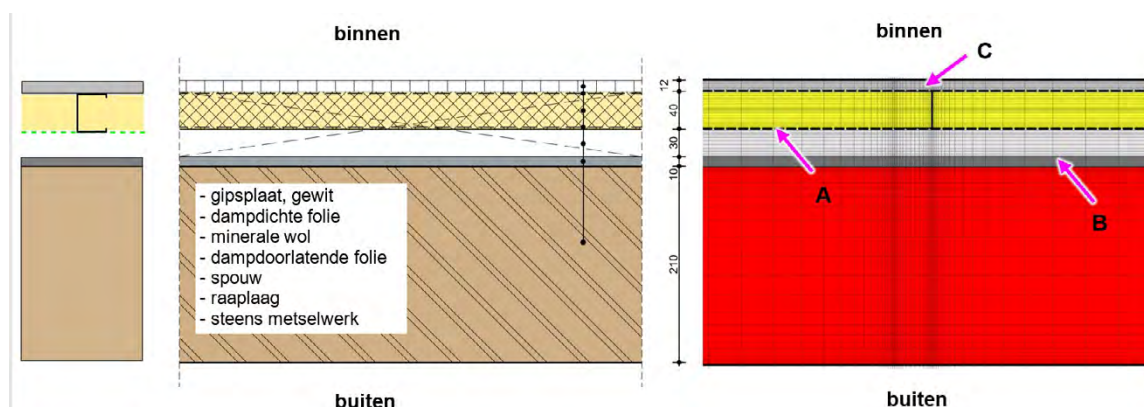
Figuur 21 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

Waarnemingen

- Er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd
- Constructie droog
- Materiaalvochtgehalte hout normaal
- Geen sporen van condensatie of schimmel
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Toepassing van metalstud
- Westgevel (verhoogde slagregenbelasting).
- Positie bevindt zich in wasmachine/cv-ruimte, waardoor verhoogde vochtbelasting aannemelijk is.

Analyse

Op deze meetpositie zijn geen zaken waargenomen die duiden op de aanwezigheid van condensatie of vochtproblemen. De meting van het materiaalvochtgehalte toont dat het hout dat zich in de ruimte bevindt droger is (ongeveer 13%) dan het hout dat zich achter de isolatie bevindt (ca. 16%). Dit is te verwachten, daar de gevel kouder en vochtiger is dan de binnenzijde. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.



Figuur 22 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. Dit betreft de buitenste zone van de minerale wol in het contactvlak met de dampdoorlatende folie.
- B. Dit betreft de binnenste zone van het buitenspouwblad (raaplaag), grenzend aan de spouw.
- C. Dit betreft de randzone van de gipsplaat, in het contactvlak met de metal-stud

Vochtcondities bij buitengrenslaag steenwolisolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	o	o	o
Binnenklimaatklasse 3	--	--	--
Binnenklimaatklasse 4	--	--	--

Uit de berekeningen blijkt dat er aan de buitenzijde van de steenwolisolatie bij hoge interne vochtbelasting, een hoge luchtvochtigheid ontstaat. De steenwolisolatie is echter ongevoelig voor hoge relatieve luchtvochtigheden waardoor dit materiaal bij geen van de berekende scenario's zal worden aangetast. Bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast.

Vochtcondities bij buitengrenslaag raaplaag

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	++	+	--

Uit de analyse blijkt dat de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de raaplaag langdurig hoog is bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting. Er is sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn. Deze spouwzijde van de baksteenwand is in principe ongevoelig voor hoge luchtvochtigheid. Eventuele vochtgevoelige verontreinigingen aan het oppervlak van de raaplaag (b.v. restanten van oude wandafwerkingen) dienen te worden verwijderd als er sprake is van hoge vochtbelasting.

Vochtcondities bij grenslaag gipskartonplaat tegen metal stud profielen

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	++
Binnenklimaatklasse 3	+	+	+
Binnenklimaatklasse 4	-	-	-

Uit de berekeningen blijkt dat de relatieve luchtvochtigheden bij de grenslaag van de gipskartonplaat bij lage interne vochtbelasting geen problemen te verwachten zijn. Bij hoge interne vochtbelasting is wel een risico op het ontstaan van vochtproblemen, mede, omdat gipskartonplaten vanwege zwellingsgedrag en de papieren toplaag (voedingsbodem schimmels) gevoelig zijn voor vochtigheid.

5.5 Casus 5

Deze casus betreft een vrijstaand woonhuis in een landelijke omgeving met een matige bezonning en beschaduwing en hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 17 maart 2022 uitgevoerd en in dit pand is de gevelisolatie onderzocht op drie verschillende posities, namelijk in de kamers aan de straatzijde en de kamer aan de tuinzijde op de eerste verdieping.

5.5.1 Algemeen

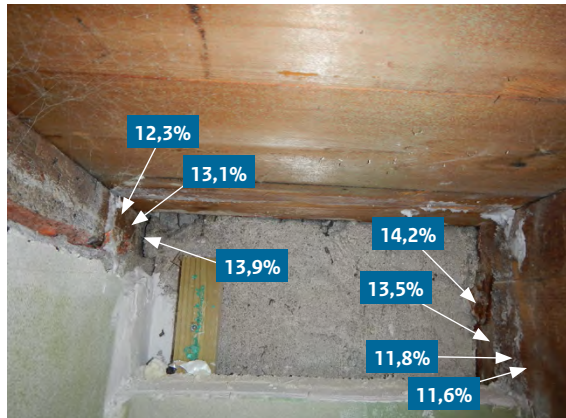
De metselwerk gevel is in 2021 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 60 mm PIR-platen (Unilin) voorzien van dampremmende aluminium cachering aan de binnenzijde. Gevel is niet gehydrofobeerd.

5.5.2 Resultaten gevelisolatie slaapkamer straatzijde (noord-noordoost)

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_{ξ} [$\text{m}^2\text{K/W}$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}\text{C}$]
2,90	7,4 (3,7/3,7)	1 ^{ste} verd. straat- zijde, NNO-gevel	Slaapkamer	In metsel-werk opgelegde balk door isolatie	Laag	Ja	10/17

Vochtmetingen



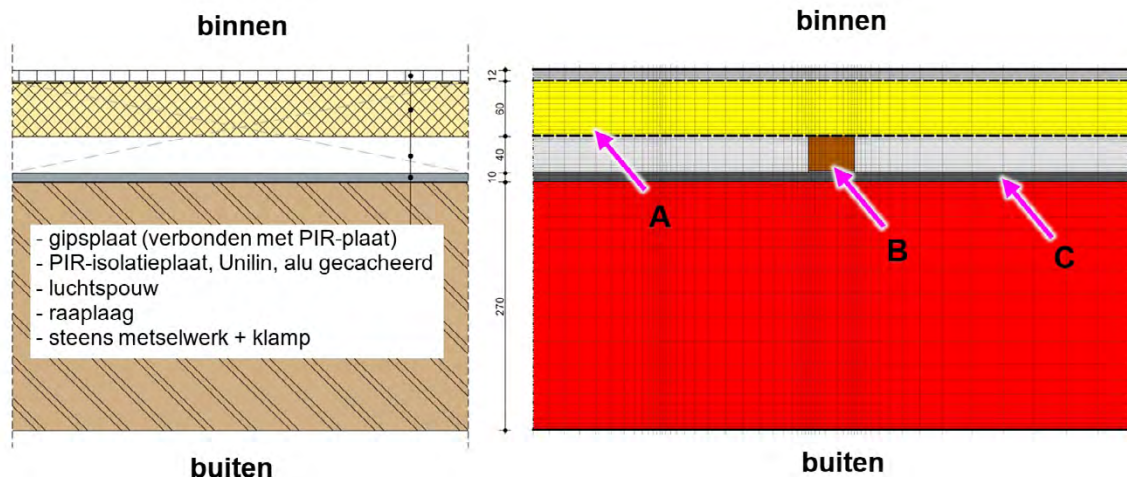
Figuur 23 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

Waarnemingen

- Pand is nog grotendeels in renovatie.
- Tijdelijke luchtheater aanwezig.
- Geen sporen van vocht of condensatie geconstateerd.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Gemeten materiaalvochtgehaltes tonen geen verhoogde waarden.
- Er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd.

Analyse

Het materiaalvochtgehalte in de bemeten balken toont een duidelijke toename naarmate de meetpositie van binnen naar buiten verschuift. Hoewel de waarden niet kritisch zijn en het verschil klein is, ca. 2 massaprocent, is deze vochtgradiënt duidelijk meetbaar. Dit verschil wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt doordat het gedurende het jaar achter de isolatie en in het metselwerk vochtiger is dan de ruimtelucht. In theorie is dit een correcte isolatiemethode. De in hoofdstuk 2 genoemde risico's van na-isolatie, zoals het risico om vorstschade en biologische groei als gevolg van een verminderde droging van het buitenblad, blijven desalniettemin gelden.



Figuur 24 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. Dit betreft de buitenste zone van de PIR-isolatie, grenzend aan de luchtsponw.
- B. Dit betreft de houten rachels in het contactvlak met de raaplaag.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitensponwblad (raaplaag), grenzend aan de luchtsponw

Vochtcondities bij buitengrenslaag PU-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	+
Binnenklimaatklasse 3	+	+	0
Binnenklimaatklasse 4	+	+	0

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met hoge regenbelastingen kan de relatieve luchtvochtigheid bij de PIR-isolatie ongunstig zijn. De PIR-isolatie is echter ongevoelig voor hoge relatieve luchtvochtigheden waardoor dit materiaal bij geen van de berekende scenario's zal worden aangetast. Eventuele vochtgevoelige afwerkingen (cacheringen) van de PIR-plaat moeten worden voorkomen.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten stijlen

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	-
Binnenklimaatklasse 3	++	++	-
Binnenklimaatklasse 4	++	++	-

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cachering op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op deze constructiedelen. De houten stijlen in deze constructie zijn bij hoge regenbelastingen gevoelig voor aantasting door de hoge luchtvochtigheid. Indien hoge regenbelastingen niet kunnen worden voorkomen, dan is het belangrijk om de houten constructiedelen in deze constructie verduurzaamd uit te voeren.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	--
Binnenklimaatklasse 3	+	+	--
Binnenklimaatklasse 4	+	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cachering op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op dit constructiedeel. Bij hoge regenbelasting is de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de raaplaag langdurig hoog. Daarbij is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn.

5.5.3 Resultaten gevelisolatie slaapkamer straatzijde (zuid-zuidwest)

Basisinformatie van de onderzochte positie

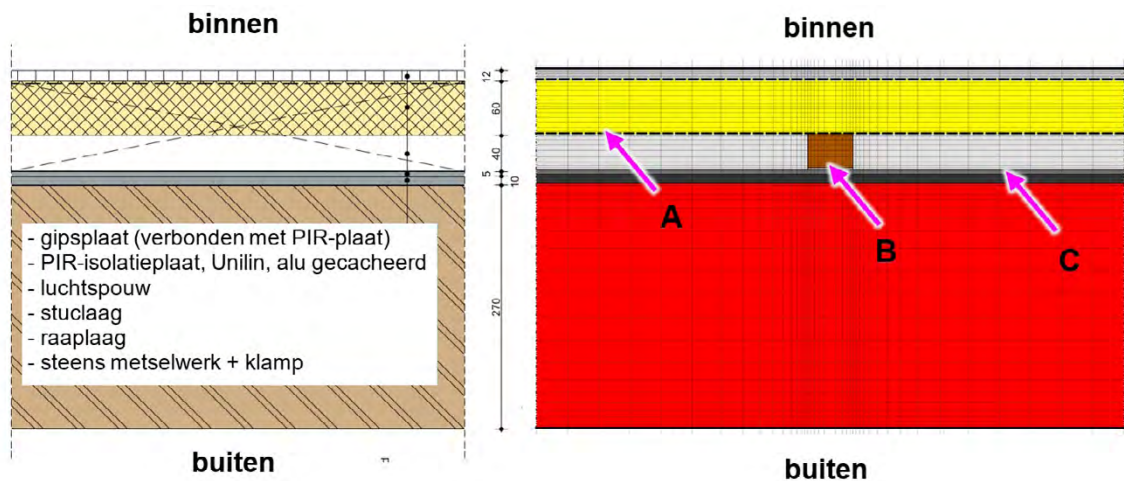
R_{e} [$\text{m}^2\text{K/W}$]	S_{d} [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	$T_{\text{bu}}/T_{\text{bi}}$ [$^{\circ}\text{C}$]
2,91	7,4 (3,7/3,7)	1 ^e verd. straat-zijde ZZW-gevel	Slaapkamer	Geveldeel regen zijde	Laag	Ja	10/17

Waarnemingen

- Pand is nog grotendeels in renovatie.
- Tijdelijke luchtheater aanwezig.
- Geen sporen van vocht of condensatie geconstateerd.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd.

Analyse

Het feit dat geen sporen van vocht of condensatie geconstateerd zijn duidt er op dat de dampdichte laag aan de binnenzijde goed aansluit, al dan niet in combinatie met een lage interne vochtlast. De aanwezige spouw tussen metselwerk en isolatielaag is gunstig, omdat daardoor eventueel vocht uit de gevel niet in het isolatiemateriaal kan treden, bijvoorbeeld op posities waar de dampremmende laag niet intact is. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.



Figuur 25 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. Dit betreft de buitenste zone van de PIR-isolatie, grenzend aan de luchtspouw.
- B. Dit betreft de houten rachels in het contactvlak met de stuc laag.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitenspouwblad (gipsstuc), grenzend aan de luchtspouw.

Vochtcondities bij buitengrenslaag PIR-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	+
Binnenklimaatklasse 3	+	+	o
Binnenklimaatklasse 4	+	+	o

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met hoge regenbelastingen kan de relatieve luchtvochtigheid bij de PIR-isolatie ongunstig zijn. De PIR-isolatie is echter ongevoelig voor hoge relatieve luchtvochtigheden waardoor dit materiaal bij geen van de berekende scenario's zal worden aangetast. Eventuele vochtgevoelige afwerkingen (cacheringen) van de PIR-plaat moeten worden voorkomen.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten stijlen

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	o
Binnenklimaatklasse 3	++	++	o
Binnenklimaatklasse 4	++	++	o

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cachering op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op deze constructiedelen. De houten stijlen in deze constructie zijn bij hoge regenbelastingen gevoelig voor aantasting door de hoge luchtvochtigheid. Indien hoge regenbelastingen niet kunnen worden voorkomen, dan is het belangrijk om de houten constructiedelen in deze constructie verduurzaamd uit te voeren.

Vochtcondities bij binnengrenslaag gipsstuc

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	++	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cachering op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op dit constructiedeel. Bij hoge regenbelasting is de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de gipsstuc langdurig hoog. Daarbij is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn.

5.5.4 Resultaten gevelisolatie slaapkamer tuinzijde

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,90	7,4 (3,7/3,7)	1 ^{ste} verd. tuinzijde, NNO-gevel	Slaapkamer	In gevel opgelegde balk door isolatie	Laag	Ja	10/17

Vochtmetingen



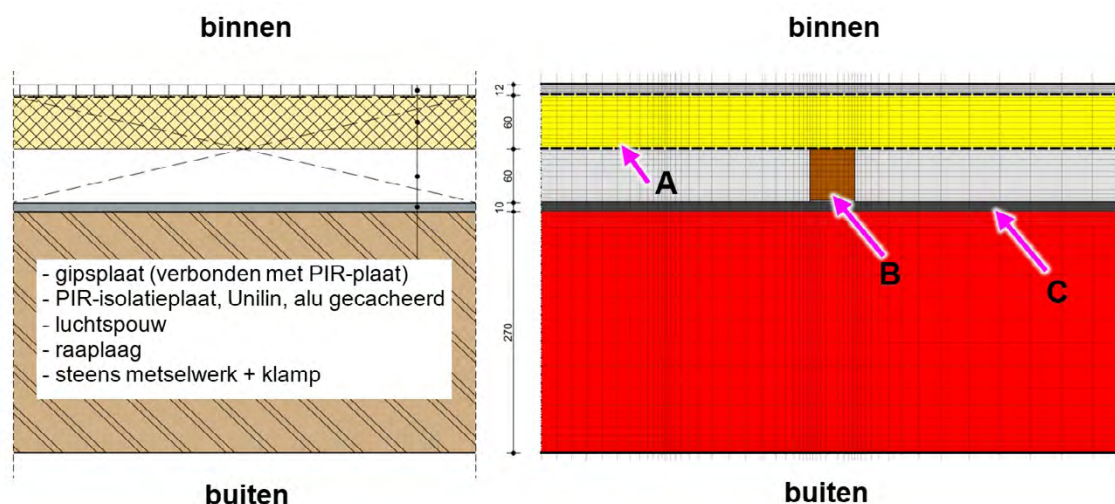
Figuur 26 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

Waarnemingen

- Pand is nog grotendeels in renovatie.
- Tijdelijk luchtheater aanwezig.
- Geen sporen van vocht of condensatie geconstateerd.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Gemeten materiaalvochtgehaltes tonen geen verhoogde waarden.
- Er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd.

Analyse

Het feit dat geen sporen van vocht of condensatie geconstateerd is duidt er op dat de dampdichte laag aan de binnenzijde goed aansluit, al dan niet in combinatie met een lage interne vochtlast. De aanwezige spouw tussen metselwerk en isolatielaag is gunstig, omdat daardoor eventueel vocht uit de gevel niet in het isolatiemateriaal kan treden, bijvoorbeeld op posities waar de dampremmende laag niet intact is. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.



Figuur 27 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. Dit betreft de buitenste zone van de PIR-isolatie, grenzend aan de luchtspouw.
- B. Dit betreft de houten rachels in het contactvlak met de raaplaag.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitenspouwblad (raaplaag), grenzend aan de luchtlag.

Vochtcondities bij buitengrenslaag PIR-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	+
Binnenklimaatklasse 3	+	+	o
Binnenklimaatklasse 4	+	o	o

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met hoge regenbelastingen kan de relatieve luchtvochtigheid bij de PIR-isolatie ongunstig zijn. De PIR-isolatie is echter ongevoelig voor hoge relatieve luchtvochtigheden waardoor dit materiaal bij geen van de berekende scenario's zal worden aangetast. Eventuele vochtgevoelige afwerkingen (cacherings) van de PIR-plaat moeten worden voorkomen.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten stijlen

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	-
Binnenklimaatklasse 3	++	++	-
Binnenklimaatklasse 4	++	++	-

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cacherings op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op deze constructiedelen. De houten stijlen in deze constructie zijn bij hoge regenbelastingen gevoelig voor aantasting door de hoge luchtvochtigheid. Indien hoge regenbelastingen niet kunnen worden voorkomen, dan is het belangrijk om de houten constructiedelen in deze constructie verduurzaamd uit te voeren.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	-
Binnenklimaatklasse 3	++	++	-
Binnenklimaatklasse 4	++	++	-

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cachering op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op dit constructiedeel. Bij hoge regenbelasting is de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de gipsstuc langdurig hoog. Daarbij is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn.

5.6 Casus 6

Deze casus betreft een vrijstaand woonhuis in een landelijke omgeving met veel bezonning, weinig beschaduwing en hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 17 maart 2022 uitgevoerd en in dit pand is de gevelisolatie onderzocht op twee posities in de woonkamer, aan de west-noordwest- en zuid-zuidwestzijde.

5.6.1 Algemeen

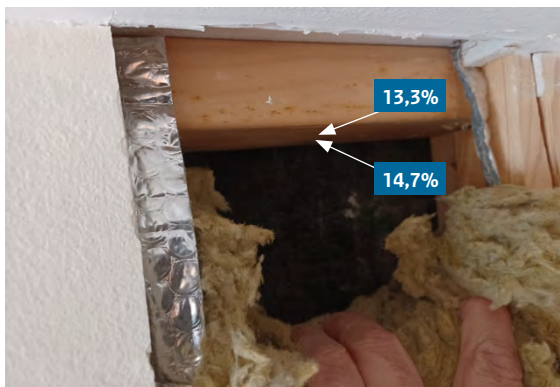
De gepleisterde metselwerk gevel is in 2003 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 80 mm steenwol met een dampremmende dubbel gelamineerd aluminium noppenfolie aan de vertrekzijde.

5.6.2 Resultaten gevelisolatie woonkamer (west-noordwest)

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,83	18,1 (15,2/2,9)	Begane grond, WNW-gevel	Woonkamer	Geïsoleerd geveldeel	Hoog	Ja	10/20

Vochtmetingen



Figuur 28 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

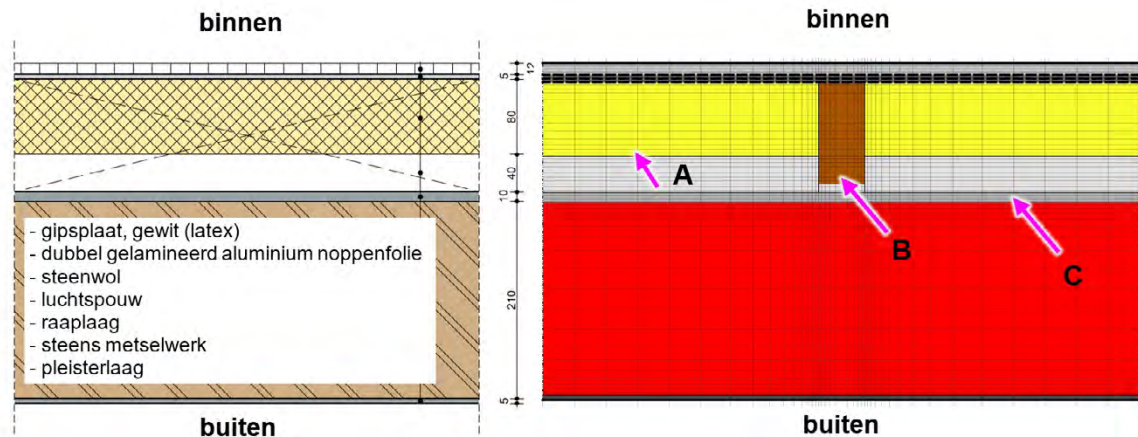
Waarnemingen

- Constructie droog, isolatiemateriaal droog.
- Geen sporen van vochtinwerking of condensatie waarneembaar.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Ter plaatse van gepleisterd buitenblad is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd.

Analyse

In theorie is de toegepaste isolatiemethode correct. Tussen buitenblad en isolatiemateriaal is tevens een luchtsponw aanwezig van enkele centimeters, waardoor geen contact bestaat tussen isolatie en gevel. Eventueel condensvocht dat in de winter kan ontstaan kan naar verwachting voldoende drogen.

De balkopleggingen zijn niet onderzocht in verband met de bereikbaarheid daarvan (boven het stucplafond).



Figuur 29 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. Dit betreft de buitenste zone van de steenwolisolatie, grenzend aan de luchtspouw.
- B. Dit betreft de houten rachels in het contactvlak met de stucwerklaag.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitenspouwblad (raaplaag), grenzend aan de luchtspouw.

Vochtcondities bij buitengrenslaag steenwol-isolatie.

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	++	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met de hoogste regenbelasting is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn. Minerale wol is vochtongevoelig waardoor er redelijkerwijs geen problemen te verwachten zijn. Vanwege de dampdichte folie zijn deze constructiedelen nauwelijks gevoelig voor hoge interne vochtbelastingen. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten stijlen.

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	--
Binnenklimaatklasse 3	++	++	--
Binnenklimaatklasse 4	++	++	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. De houten stijlen in deze constructie zijn bij hoge regenbelastingen gevoelig voor aantasting. Indien hoge regenbelastingen niet kunnen worden voorkomen, dan is het belangrijk om de houten constructiedelen in deze constructie verduurzaamd uit te voeren. Vanwege de dampdichte folie zijn deze constructiedelen nauwelijks gevoelig voor hoge interne vochtbelastingen.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag.

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	--
Binnenklimaatklasse 3	+	+	--
Binnenklimaatklasse 4	+	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze positie zal ontstaan. Bij hoge regenbelasting zal de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde raaplaag oplopen. Er is sprake van enige vochtopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn. Deze spouwzijde van baksteenwand is in principe ongevoelig voor hoge luchtvochtigheid. Eventuele vochtgevoelige verontreinigingen aan het oppervlak van de raaplaag (b.v. restanten van oude wandafwerkingen) dienen te worden verwijderd als er sprake is van hoge vochtbelasting.

5.6.3 Resultaten gevelisolatie woonkamer (zuid-zuidwest)

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,82	18,0 (15,2/2,8)	Begane grond, ZZW-gevel	Woonkamer	Geïsoleerd geveldeel	Hoog	Ja	10/20

Vochtmetingen



Figuur 30 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

Waarnemingen

- Constructie droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- CV-leidingen aanwezig in spouw achter isolatiemateriaal.
- Er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd.

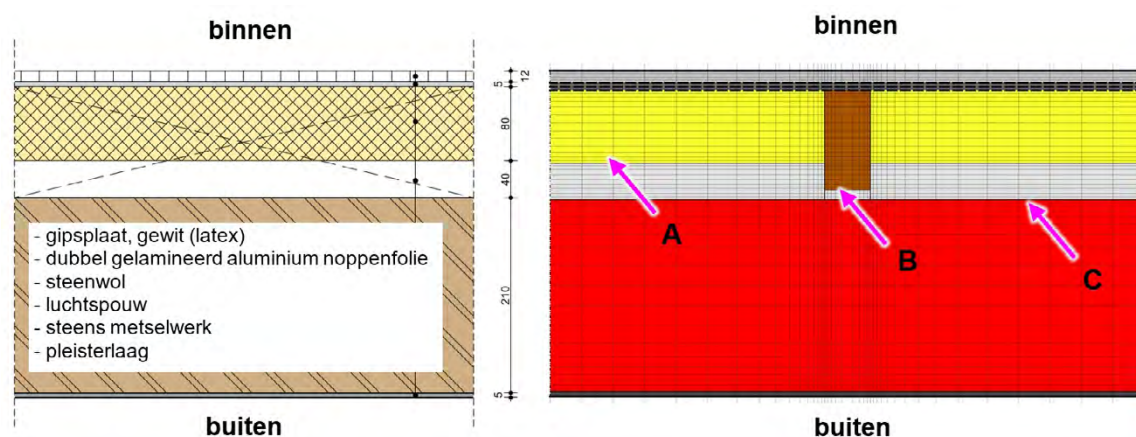
Analyse

In theorie is de toegepaste isolatiemethode correct. Tussen buitenblad en isolatiemateriaal is tevens een luchtsponw aanwezig van enkele centimeters, waardoor geen contact bestaat tussen isolatie en gevel. Eventueel condensvocht dat in de winter kan ontstaan kan naar verwachting voldoende drogen.

Op de opengemaakte positie bevinden zich cv-leidingen in de luchtsponw tussen metselwerk en isolatie. Hierdoor is te verwachten dat nabij deze leidingen de constructie tijdens het stookseizoen droger is. Metingen van het materiaalvochtgehalte van de houten regels waartussen de isolatie is aangebracht tonen dat aan: het materiaalvochtgehalte is ca. 2 massaprocent lager dan de onderzochte positie aan de west-noordwestwand. Omdat de cv-leidingen achter het

isolatiemateriaal gepositioneerd zijn, is er wel een risico aanwezig op bevriezing van deze leidingen. Bijvoorbeeld in de situatie dat de cv-ketel tijdens koude winterse perioden niet gebruikt wordt.

De balkopleggingen zijn niet onderzocht in verband met de bereikbaarheid daarvan (boven het stucplafond).



Figuur 31 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. Dit betreft de buitenste zone van de steenwolisolatie, grenzend aan de luchtspouw.
- B. Dit betreft de houten rachels in het contactvlak met de stucwerklaag.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitenspouwblad (baksteen), grenzend aan de luchtspouw.

Vochtcondities bij buitengrenslaag steenwolisolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	++	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met de hoogste regenbelasting is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn. Minerale wol is vochtongevoelig waardoor er redelijkerwijs geen problemen te verwachten zijn. Vanwege de dampdichte folie zijn deze constructiedelen nauwelijks gevoelig voor hoge interne vochtbelastingen. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten stijlen

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	--
Binnenklimaatklasse 3	++	++	--
Binnenklimaatklasse 4	++	++	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. De houten stijlen in deze constructie zijn bij hoge regenbelastingen gevoelig voor aantasting. Indien hoge regenbelastingen niet kunnen worden voorkomen, dan is het belangrijk om de houten constructiedelen in deze constructie verduurzaamd uit te voeren. Vanwege de dampdichte folie zijn deze constructiedelen nauwelijks gevoelig voor hoge interne vochtbelastingen.

Vochtcondities bij binnengrenslaag baksteen.

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	--
Binnenklimaatklasse 3	+	+	--
Binnenklimaatklasse 4	+	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze positie zal ontstaan. Bij hoge regenbelasting zal de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde raaplaag oplopen. Er is sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn. Deze spouwzijde van baksteenwand is in principe ongevoelig voor hoge luchtvochtigheid. Eventuele vochtgevoelige verontreinigingen aan het oppervlak van de raaplaag (bijvoorbeeld restanten van oude wandafwerkingen) dienen te worden verwijderd als er sprake is van hoge vochtbelasting.

5.7 Casus 7

Deze casus betreft een geschakeld woonhuis in een landelijke omgeving met matige bezonning, matige beschaduwing en een matige slagregenbelasting. Het onderzoek is op 17 maart 2022 uitgevoerd en in dit pand is de gevelisolatie op vier posities onderzocht, namelijk in de eetkamer en de keuken op de begane grond en slaapkamers op de eerste verdieping.

5.7.1 Algemeen

De gepleisterde metselwerk gevel is in 2006 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 40 mm PIR-platen voorzien van dampremmende cacherings aan de binnenzijde.

5.7.2 Resultaten gevelisolatie eetkamer

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_{e} [$\text{m}^2\text{K/W}$]	S_{d} [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	$T_{\text{bi}}/T_{\text{bi}}$ [$^{\circ}\text{C}$]
2,14	5,4 (2,5/2,9)	begane grond, ZO-gevel	Eetkamer	Vloerbalk door isolatie	Matig	Ja	10/16,5

Vochtmetingen



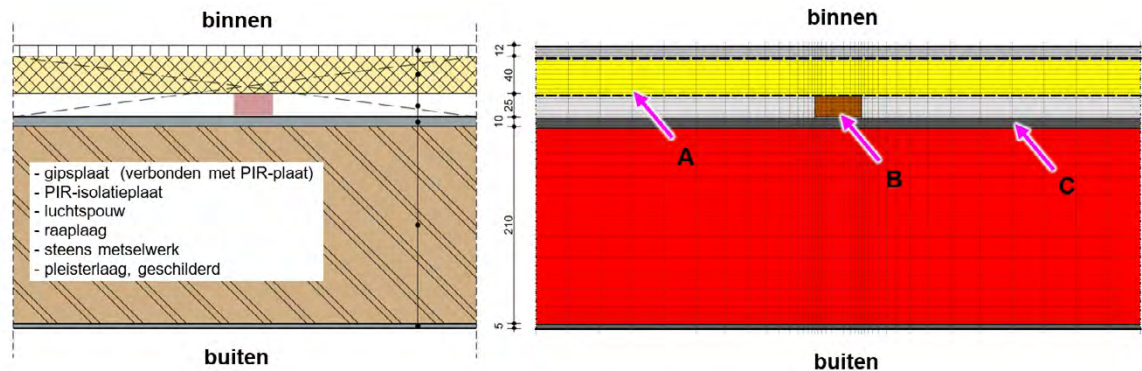
Figuur 32 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

Waarnemingen

- Constructie droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie geconstateerd.
- Regelwerk van verduurzaamd hout.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd aan het gepleisterde buitenblad.

Analyse

Door de dampremmende lagen aan het isolatiemateriaal kan vocht uit de leefruimte niet (in grote hoeveelheden) in of achter het isolatiemateriaal geraken. In theorie is dit een correcte isolatiemethode. Het isolatiemateriaal is hier tegen de vloerbalk aangebracht. Dit leidt echter niet tot zichtbare problemen.



Figuur 33 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. De grenslaag (buitenste 3 mm) van de PIR-isolatieplaat in het contactvlak met de PE-folie.
- B. De voorzijde van de houten rachsels (buitenste 10 mm) in het contactvlak met de raaplaag.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitensponwblad (raaplaag), grenzend aan de luchtlaag.

Vochtcondities bij buitengrenslaag PIR-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	+
Binnenklimaatklasse 3	+	+	0
Binnenklimaatklasse 4	0	0	-

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met hoge regenbelastingen kan de relatieve luchtvochtigheid bij de PIR-isolatie ongunstig zijn. De PIR-isolatie is echter ongevoelig voor hoge relatieve luchtvochtigheden waardoor dit materiaal bij geen van de berekende scenario's zal worden aangetast. Eventuele vochtgevoelige afwerkingen (cacheringen) van de PIR-plaat moeten worden voorkomen.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten rachsels.

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	++	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cachering op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op deze constructiedelen. De houten rachsels in deze constructie zijn bij hoge regenbelastingen gevoelig voor aantasting door de hoge luchtvochtigheid. Indien hoge regenbelastingen niet kunnen worden voorkomen, dan is het belangrijk om de houten constructiedelen in deze constructie verduurzaamd uit te voeren.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag.

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	++	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cachering op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op dit constructiedeel. Bij hoge regenbelasting is de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de raaplaag langdurig hoog. Daarbij is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn.

5.7.3 Resultaten gevelisolatie keuken

Basisinformatie van de onderzochte positie.

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bi}/T_{bo} [$^{\circ}C$]
2,14	5,4 (2,5/2,9)	NO-gevel begane grond	Keuken	Vloerbalk door isolatie	Matig	Ja	10/16,5

Vochtmetingen

Op deze positie zijn geen vochtmetingen uitgevoerd.



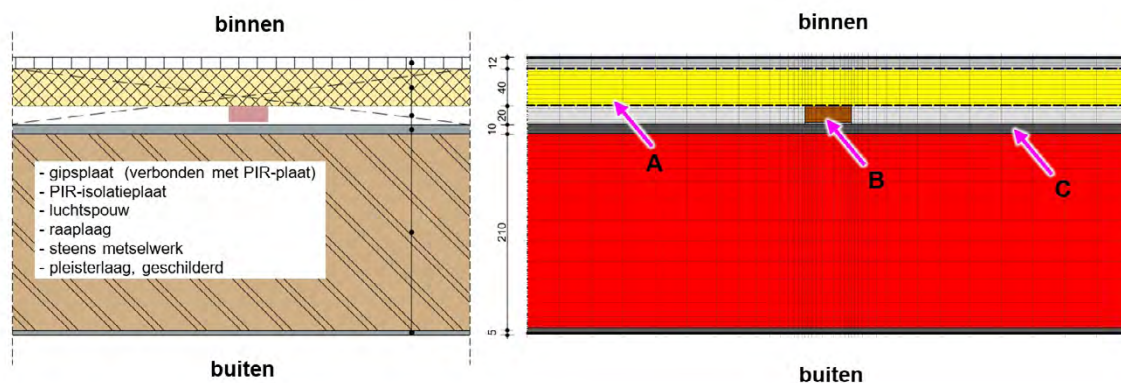
Figuur 34 Aanzicht opengemaakte constructie.

Waarnemingen

- Constructie droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie geconstateerd.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Regelwerk van verduurzaamd hout.
- Geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd aan het gepleisterde buitenblad.

Analyse

Door de dampremmende lagen aan het isolatiemateriaal kan vocht uit de ruimte niet (in grote hoeveelheden) in of achter het isolatiemateriaal geraken. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.



Figuur 35 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. De voorzijde van de houten rachsels (buitenste 10mm) in het contactvlak met de raaplaag.
- B. De grenslaag (buitenste 3 mm) van de PIR-isolatieplaat in het contactvlak met de PE-folie.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitenspouwblad (raaplaag), grenzend aan de luchtlaag

Vochtcondities bij buitengrenslaag PIR-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	+
Binnenklimaatklasse 3	+	+	0
Binnenklimaatklasse 4	0	0	-

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met hoge regenbelastingen kan de relatieve luchtvochtigheid bij de PIR-isolatie ongunstig zijn. De PIR-isolatie is echter ongevoelig voor hoge relatieve luchtvochtigheden waardoor dit materiaal bij geen van de berekende scenario's zal worden aangetast. Eventuele vochtgevoelige afwerkingen (cacheringen) van de PIR-plaat moeten worden voorkomen.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten rachsels.

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	++	+	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cachering op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op deze constructiedelen. De houten rachsels in deze constructie zijn bij hoge regenbelastingen gevoelig voor aantasting door de hoge luchtvochtigheid. Indien hoge regenbelastingen niet kunnen worden voorkomen, dan is het belangrijk om de houten constructiedelen in deze constructie verduurzaamd uit te voeren.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	++	+	--
Binnenklimaatklasse 4	++	+	--

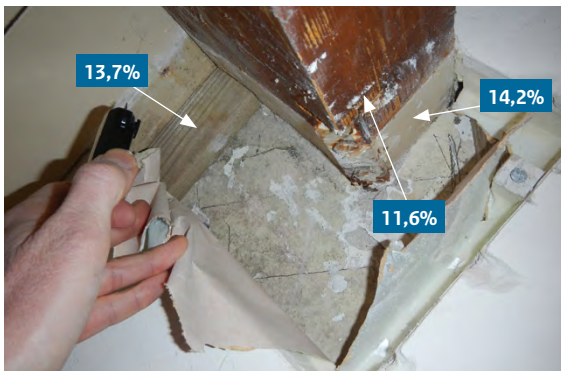
Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario's met lage regenbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Vanwege de dampdichte cachering op de isolatieplaten, heeft de interne vochtbelasting geen grote invloed op dit constructiedeel. Bij hoge regenbelasting is de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de raaplaag langdurig hoog. Daarbij is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn.

5.7.4 Resultaten gevelisolatie slaapkamer (noordoost)

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_e [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,14	5,4 (2,5/2,9)	Kapverdieping, NO-zijde	Slaapkamer	Gording door isolatie	Matig	Ja	10/16,5

Vochtmetingen



Figuur 36 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

Waarnemingen

- Constructie droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie geconstateerd.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Regelwerk van verduurzaamd hout.
- Geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd aan het gepleisterde buitenblad.

Analyse

De gording steekt door het isolatiemateriaal heen en is opgelegd in het metselwerk. Het isolatiemateriaal is tegen de gording aangebracht. Op die posities is het materiaalvochtgehalte van de gording bijna drie massaprocent (3 massa%) hoger dan daar waar de gording grenst aan de ruimtelucht. De gemeten waarden zijn echter niet kritisch. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.

Bouwfysische berekening

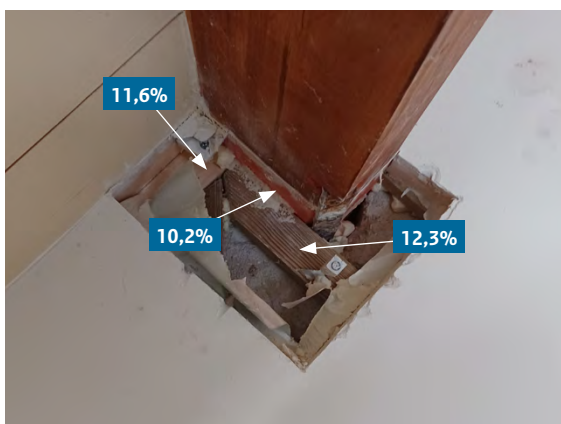
Conform bouwfysische berekeningen in § 5.7.3 vanwege exact dezelfde constructieopbouw.

5.7.5 Resultaten gevelisolatie slaapkamer (zuidwest)

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,14	5,4 (2,5/2,9)	Kapverdieping, ZW-gevel	Slaapkamer	Gording door isolatie	Matig	Ja	10/16,5

Vochtmetingen



Figuur 37 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

Waarnemingen

- Constructie droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie geconstateerd.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipsplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Regelwerk van verduurzaamd hout. Gordingeind van menie voorzien.
- Geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd aan het gepleisterde buitenblad.

Analyse

De gording steekt door het isolatiemateriaal heen en is opgelegd in het metselwerk. Het isolatiemateriaal is tegen de gording aangebracht. De gemeten vochtwaarden zijn niet kritisch. In theorie is dit een correcte isolatiemethode.

Bouwfysische berekening

Conform bouwfysische berekeningen in § 5.7.3 vanwege exact dezelfde constructieopbouw.

5.8 Casus 8

Deze casus betreft een vrijstaand woonhuis (buitenplaats) in een landelijke omgeving met veel bezonning, weinig beschaduwing en een hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 15 maart 2022 uitgevoerd en in dit pand is de dakisolatie onderzocht ter plaatse van het westelijke dakvlak.

5.8.1 Algemeen

Het pannendak is in 2013 dampopen geïsoleerd met 140 mm houtvezeldekens tussen de sporen en 35 mm houtvezelplaten op de sporen (zonder dakbeschot). Volgens de eigenaar is het isolatiemateriaal onder meer aangebracht ten behoeve van wind-, regen- en sneeuwdichtheid.

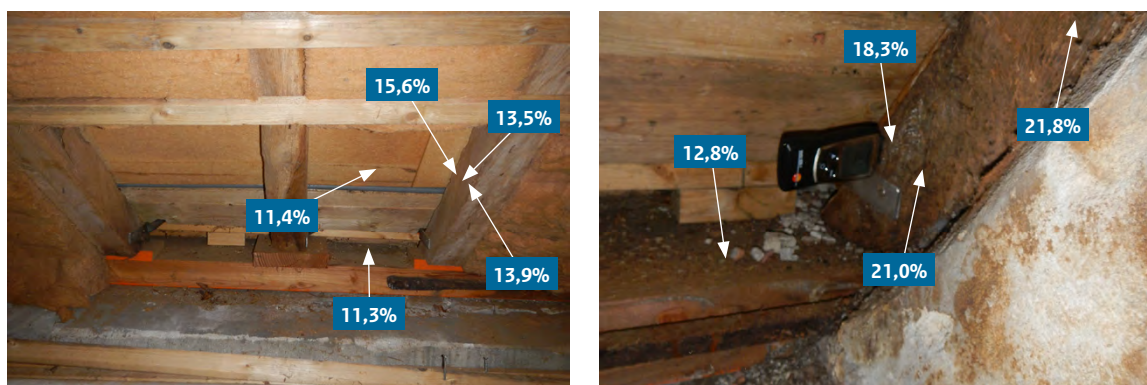
5.8.2 Resultaten dakisolatie

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
4,20	3,5 (3,5/0)	Kapverdieping NW-hoek t.h.v. borstwering	Opslag	Dakisolatie tussen sporen	Matig	Ja*	8/18,5

* Indirect door cv-leidingen

Vochtmetingen



Figuur 38 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

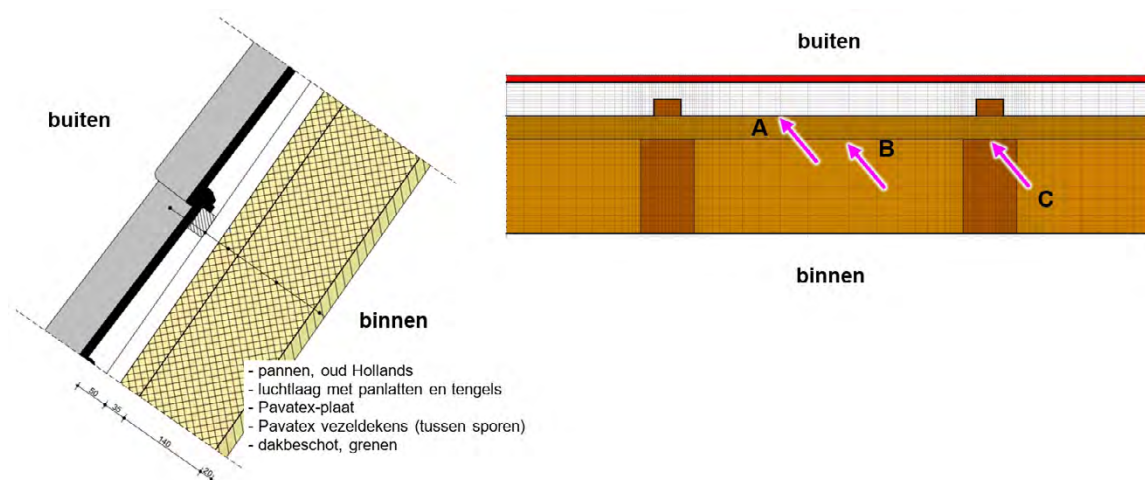
Waarnemingen

- Sporen van lekkage op constructiedelen en dakplaat.
- Inwatering via pannen aanneemelijk. Actieve lekkage bekend aan zuidelijke kopgevel.
- Constructie en isolatiemateriaal zijn veelal droog. Materiaalvochtgehalte spant kopgevel verhoogd (>21%), vermoedelijk als gevolg van inwatering.
- Zoldervloer ter plaatse van woning geïsoleerd. Kapdeel daarboven alleen voorzien van houtvezeldakplaat.

Analyse

De kwaliteit van de pannendekking is dermate dat inwatering tijdens regen- en sneeuwval aanneemelijk is. Hoewel de dakplaat (beperkt) capillair actieve eigenschappen bezit - en daarmee in staat is om eventueel water op te nemen en te verdelen over de plaat - is het aanbrengen van een dampopen waterafvoerende folie onder de pannen theoretisch nodig. In het geval van grote hoeveelheden hemelwater is de houtvezeldakplaat en de daar tegen aangebrachte houtvezeldekens vermoedelijk niet in staat om al dat vocht te absorberen. In theorie is de toegepaste isolatiemethode derhalve als niet correct te beoordelen. Ter plaatse van de onderzochte positie is weliswaar een verhoogd materiaalvochtgehalte in een van de spanten geconstateerd, in het algemeen is de situatie echter niet als

kritisch te beoordelen. Op posities waar grote hoeveelheden hemelwater de dakplaat kunnen bereiken is de situatie vermoedelijk anders.



Figuur 39 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. De buitenste zone van de Pavatex-platen grenzend aan de luchtlag onder de pannen.
- B. De buitenste zone van de Pavatex-deken grenzend aan de luchtlag onder de pannen.
- C. De buitenste zone 10 mm van de houten daksporen.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houtwoldeken-isolatie

Beoordelingspositie B	0% - regen	1% - regen	10% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	++
Binnenklimaatklasse 3	++	++	++
Binnenklimaatklasse 4	++	++	++

De vochtcondities bij de Pavatex houtvezeldekens zijn in alle rekenscenario's gunstig waardoor er geen aantasting wordt verwacht van deze materiaal laag.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houtvezelplaat-isolatie

Beoordelingspositie B	0% - regen	1% - regen	10% - regen
Binnenklimaatklasse 2	o	o	-
Binnenklimaatklasse 3	o	o	-
Binnenklimaatklasse 4	o	-	-

De vochtcondities bij de Pavatex houtvezelplaten (direct aan de spouw) zijn bij lage vochtbelastingen net aanvaardbaar. Uit de berekeningen blijkt dat de daggemiddelden een zeer grillig verloop hebben, zowel voor de lage als hoge vochtbelastingen. Het is niet eenvoudig om hier een kwalitatief oordeel over te geven. De houtvezellaag wordt snel vochtig maar droogt ook weer snel. Hier is niet goed te voorspellen hoe deze frequente wisselingen de lange termijn conditie van de houtvezelplaten beïnvloeden. Het dak is niet uitgevoerd met waterkerende laag en dit betekent dat stof en andere atmosferisch verontreinigingen in de houtvezelplaten gaan afzetten, wat voor de lange termijn conditie niet wenselijk is.

Vochtcondities bij buitenrand houten sporen

Beoordelingspositie B	0% - regen	1% - regen	10% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	++
Binnenklimaatklasse 3	++	++	++
Binnenklimaatklasse 4	++	++	++

De vochtcondities bij de houten sporen zijn in alle rekenscenario's gunstig waardoor er geen aantasting wordt verwacht van deze materiaal laag.

5.9 Casus 9

Deze casus betreft een woonboerderij in een landelijke omgeving met veel bezonning, weinig schaduw en een hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 15 maart 2022 uitgevoerd en in dit pand is de gevelisolatie onderzocht in de woonkamer, aan de zuidwestgevel.

5.9.1 Algemeen

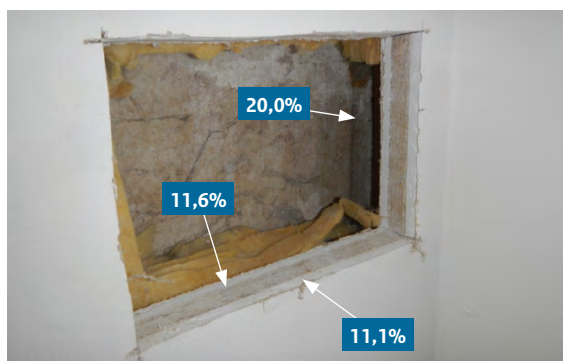
De metselwerk gevel is in 2016 dampopen geïsoleerd aan de binnenzijde met 60 mm glaswoldekens, zonder toepassing van een dampremmende folie.

5.9.2 Resultaten gevelisolatie

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,14	3,3 (0,4/2,9)	Begane grond, gevel ZW	Woonkamer	Binnenisolatie tegen regen-belaste gevel	Hoog	Ja	8/19,5

Vochtmetingen



Figuur 40 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

Waarnemingen

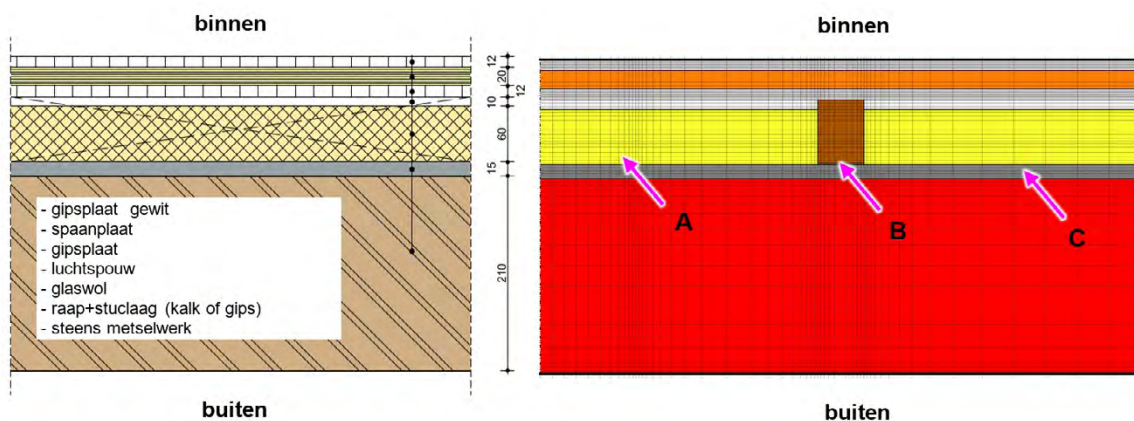
- Gevel is niet gehydrofobeerd. Voegwerk is intact.
- Zeer beperkte schades aan klinkers zichtbaar aan buitenzijde (zie onderstaande afbeelding). Mogelijk lichte vorstschade. Kan ook door mechanische inwerking komen.
- Geen zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd.
- Gevel buitenzijde oogt droog.
- Isolatiemateriaal is deels in contact met buitenblad, spouw van beperkte breedte.
- Isolatiemateriaal klam met zwarte vlekken (waarschijnlijk schimmel). Binnenzijde gevel (stuc laag) vochtig.
- Gipsplaat isolatiezijde lichte en roze schimmelvlekken, spaanplaatzijde zwarte schimmelvlekken.
- Binnenzijde vertoont vanuit de woonkamer gezien beperkt sporen van de aanwezige bouw fysische problemen.



Figuur 41 Aanzicht van de gevel aan de buitenzijde.

Analyse

Door de afwezigheid van een dampremmende laag aan de vertrekzijde, in combinatie met een dampopen isolatiemateriaal, is de toegepaste wijze van isoleren als theoretisch incorrect te beoordelen. De stuc laag aan de binnenzijde van het gevelblad en het isolatiemateriaal voelden vochtig aan. De aan het isolatiemateriaal grenzende gipsplaat is gezien de aanwezige schimmels langdurig vochtig geweest. Het geconstateerde vochtprobleem is mogelijk een combinatie van inwendige condensatie in combinatie met een buitengevel die na slagregen een verminderde droging kent, als gevolg van de aanwezige thermische isolatie. De mate van inwendige condensatie als gevolg van een dampstroom van de binnenruimte naar het isolatiemateriaal is vermoedelijk beperkt, omdat als binnenafwerking een combinatie van twee gipsplaten met 2 cm spaanplaat is toegepast, afwerkt met latex. Om de precieze oorzaak te achterhalen dient verder bouwtechnisch onderzoek plaats te vinden. Dit is nodig om uit te kunnen sluiten dat bouwkundige gebreken, zoals bijvoorbeeld lekkages of grondwater, hier een rol spelen. Tevens kan onderzocht worden of de problematiek op meerdere posities speelt.



Figuur 42 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn met pijlen weergegeven in bovenstaande figuur):

- A. De buitenste zone (10mm) van de houten stijlen, in het contactvlak met de raaplaag.
- B. De buitenste zone (3 mm) van de glaswol, in het contactvlak met de raaplaag.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitensponwblad (raaplaag), grenzend aan de glaswol.

Vochtcondities bij buitengrenslaag glaswol-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	-
Binnenklimaatklasse 3	0	0	--
Binnenklimaatklasse 4	-	--	--

Uit de analyse blijkt dat voor de rekenscenario met lage interne vochtbelastingen, er geen problemen op deze posities zullen ontstaan. Bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting is er sprake van enige vocht-opbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn. Glaswol is vochtongevoelig waardoor er redelijkerwijs geen problemen te verwachten zijn. Wel moet daarbij worden voorkomen dat er vochtgevoelige materialen in deze zone worden toegepast. Eventuele restanten van bijvoorbeeld houtstof of organische cacheringen kunnen leiden tot schimmelvorming.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten rachsels.

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	++
Binnenklimaatklasse 3	++	++	+
Binnenklimaatklasse 4	++	+	+

Uit de analyse blijkt dat de houten stijlen in deze constructie bij hoge regenbelastingen slechts beperkt gevoelig zijn voor aantasting.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag.

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	-
Binnenklimaatklasse 3	0	0	--
Binnenklimaatklasse 4	--	--	--

Uit de analyse blijkt dat de relatieve luchtvochtigheid aan de binnenzijde van de baksteenwand kan oplopen tot ca 97%. Er is sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt zelfs bij het rekenscenario met de hoogste vochtbelasting op jaarbasis in balans te zijn. Deze spouwzijde van baksteenwand is in principe ongevoelig voor hoge luchtvochtigheid. Eventuele vochtgevoelige verontreinigingen aan het oppervlak van de raaplaag (b.v. restanten van oude wandafwerkingen) dienen te worden verwijderd als er sprake is van hoge vochtbelasting.

5.10 Casus 10

Deze casus betreft een woonboerderij in een landelijke omgeving met een matige bezonning, veel beschaduwing en hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 10 mei 2022 uitgevoerd en in dit pand zijn de dakisolatie aan de zuidzijde onderzocht en de gevelisolatie aan de oostzijde.

5.10.1 Dakisolatie

5.10.1.1 Algemeen

Het pannendak is in 1990/1991 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 80 mm glaswol dekens voorzien van dampremmende aluminium cachering aan de vertrekzijde.

5.10.1.2 Resultaten dakisolatie

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bi}/T_{bo} [$^{\circ}C$]
2,37	7,3 (4,2/3,1)	Kapverdieping zuid	Slaapkamer	Aansluiting borstwering en dak	Hoog	Ja	16/20,5

Vochtmetingen



Figuur 43 Houtvochtgehalte op verschillende posities

Waarnemingen

- Constructie droog, isolatiemateriaal licht verkleurd.
- Dampremmende laag van isolatiedeken vermoedelijk niet vastgezet. Dampremmende laag vermoedelijk niet sluitend.

- Materiaalvochtgehalte houten constructiedelen niet kritisch.
- Bovenzijde gipsplaat dak en bovenzijde schot van borstwering vervuild, o.a. door knaagdier- of vogeluitwerpselen.

Analyse

In theorie is dit een correcte isolatiemethode, door de aanwezigheid van een dampremmende laag aan de vertrekzijde van het isolatiemateriaal. De dampremmende laag is echter vermoedelijk niet sluitend bevestigd, waardoor tijdens het stookseizoen een dampstroom vanuit de binnenzijde in het isolatiemateriaal kan komen en aldaar condenseren. Gezien de staat van de aanwezige isolatie en het feit dat de isolatie vermoedelijk enkele decennia geleden aangebracht is, is deze situatie echter niet als kritisch te beoordelen en lijkt de hoeveelheid condensatie die eventueel kan ontstaan beperkt te zijn. Daarnaast kan eventueel condensvocht vermoedelijk vrij snel weer drogen, doordat een licht geventileerde spouw tussen dakbeschot en isolatiemateriaal aanwezig is.

Bouwfysische berekening

Voor deze dakpositie is geen bouwfysische berekening gemaakt, omdat de isolatieopbouw vanuit de theorie gezien als bouwfysisch correct wordt beschouwd.

5.10.2 Gevelisolatie

5.10.2.1 Algemeen

De metselwerk gevel is in 1990/1991 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 60 mm PUR-platen, waarbij aan de gevelzijde een dampremmende folie is aangebracht. De gevel is ter plaatse van de onderzochte positie niet en aan de noordzijde mogelijk gehydrofobeerd.

5.10.2.2 Resultaten gevelisolatie

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,89	7,0 (3,7/3,3)	Oostgevel, ZO- hoek	Woonkamer	Gevel	Hoog	Ja	16/20,5

Vochtmetingen



Figuur 44 Houtvochtgehalte op verschillende posities

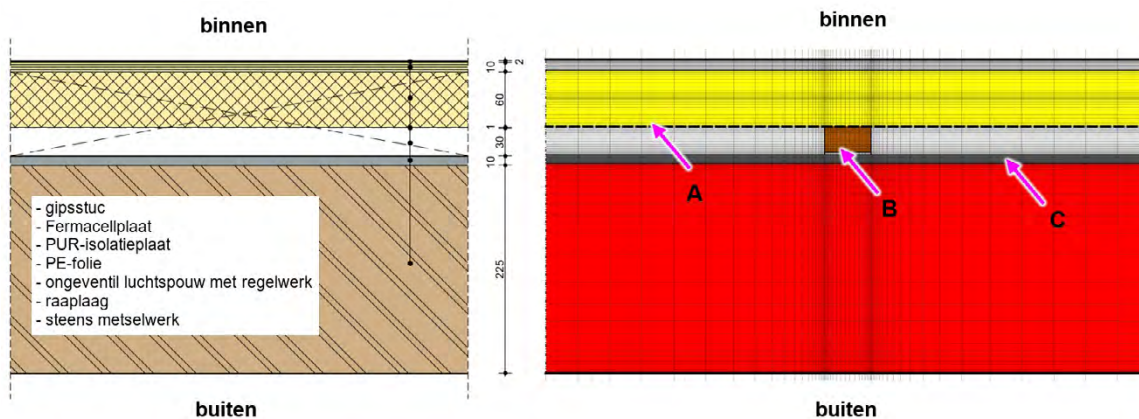
Waarnemingen

Constructie droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie.

- Er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting aan het buitenblad geconstateerd.
- Voegwerk gevel plaatselijk in een matige staat (kalkmortel).
- Uitgenomen isolatiemateriaal en vezelplaat zijn schoon en vertonen geen tekenen van vochtinwerking.

Analyse

Afgezien van het feit dat een dampremmende laag theoretisch aan de vertrekzijde aangebracht dient te worden, is deze isolatiemethode niet direct als incorrect te beoordelen. PUR (60 mm) is van zichzelf namelijk relatief dampremmend, waardoor een aanvullende dampremmende folie aan de vertrekzijde vaak niet noodzakelijk is als de interne vochtbelasting niet hoog is. Een bouwfysische berekening kan hier uitsluitsel over geven.



Figuur 45 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn met pijlen weergegeven in bovenstaande figuur):

- A. De voorzijde van de houten rachels (buitenste 10mm) in het contactvlak met de raaplaag.
- B. De grenslaag (buitenste 3mm) van de glaswollaag in het contactvlak met de PE-folie.
- C. Dit betreft de binnenste zone van het buitenspouwblad (raaplaag), grenzend aan de luchtlaag.

Vochtcondities bij buitengrenslaag PU-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	o	o	-
Binnenklimaatklasse 3	--	--	--
Binnenklimaatklasse 4	--	--	--

Uit de berekeningen blijkt dat de toepassing van de dampremmende PE-folie aan de buitenzijde van de PU-isolatie er voor zorgt dat de vochtcondities in de buitenrand van de PU-isolatie ongunstig zijn. Aangezien PU-isolatie in principe ongevoelig is voor vocht, zal er geen schade ontstaan. Uit de berekeningen blijkt verder dat er in vrijwel alle scenario's geen significante vochtaccumulatie optreedt in de PU-isolatie en dat de isolatie in de zomerperiode weer kan drogen. Alleen bij het zwaarste scenario (25% regen en binnenklimaatklasse 4) is jaarlijkse wateraccumulatie te zien. Dit scenario moet dan ook worden vermeden.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten rachels

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	+	--
Binnenklimaatklasse 3	+	+	--
Binnenklimaatklasse 4	+	+	--

Uit de berekening blijkt dat de vochtcondities voor de houten rachels in de spouw toepasbaar zijn bij beperkte regenwaterbelastingen. Bij een hogere regenwaterbelasting wordt het risico op aantasting van de houten rachels aanzienlijk. Doordat er een dampremmende folie in de constructie aanwezig is, heeft een variatie qua binnenklimaat geen grote invloed op de vochtcondities in de houten rachels.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	--
Binnenklimaatklasse 3	+	+	--
Binnenklimaatklasse 4	+	+	--

Uit de berekening blijkt dat de vochtcondities voor de raaplaag in de spouw bij beperkte regenwaterbelastingen aanvaardbaar zijn. De raaplaag is in principe ongevoelig voor vocht maar er dient te worden gezorgd dat er bij hogere vochtbelastingen geen vochtgevoelige materialen of toeslagmaterialen bij de raaplaag worden toegepast.

5.11 Casus 11

Deze casus betreft een vrijstaand woonhuis in een stedelijke omgeving met een matige bezonning, veel schaduw (in de zomerperiode) en matige slagregenbelasting. Het onderzoek is op 18 mei 2022 uitgevoerd en in dit pand is de gevelisolatie onderzocht van de woonkamer bij twee verschillende balkopleggingen aan de westnoordwestgevel.

5.11.1 Algemeen

De gepleisterde metselwerk gevel is in 2016 dampopen geïsoleerd aan de binnenzijde met 80 mm houtvezelplaten (Pavadentro) en leemstuc. Volgens de productspecificatie is de houtvezelplaat voorzien van een inwendige dampremmende laag, bestaande uit een silicaat dampscherm.

5.11.2 Resultaten gevelisolatie woonkamer balk 2

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,26	2,1 (0,3/1,8)	WNW-gevel, balk 2	Woonkamer	Gevel t.p.v. balkoplegging	Hoog	Ja	18,5/20,5

Vochtmetingen

Op deze positie zijn geen vochtmetingen uitgevoerd omdat de balkkop is afgewerkt met epoxyhars.



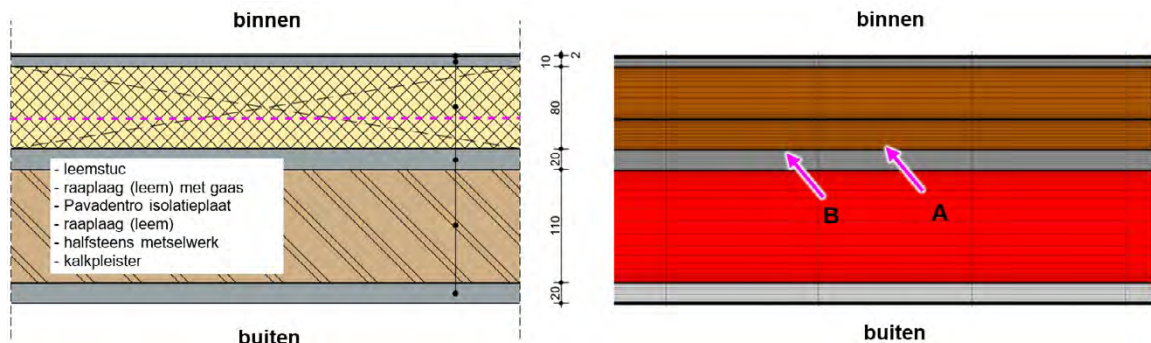
Figuur 46 Aanzicht opengemaakte constructie.

Waarnemingen

- Er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting aan het buitenblad geconstateerd.
- Uitgenomen houtvezelplaat lijkt nat te zijn geweest aan metselwerkkzijde (donkere verkleuring).
- Balkkop tijdens restauratie hersteld middels epoxy. Vóór aanbrengen isolatiemateriaal. Balkkop was verrot, vermoedelijk gevolg van hemelwater.

Analyse

De donkere verkleuring die waargenomen is op de uitgenomen houtvezelplaat is vermoedelijk het gevolg van het monteren in de nog vochtige raaplaag, conform het montagevoorschrift. Omdat dit materiaal theoretisch capillair actieve eigenschappen bezit en het systeem dampopen is opgebouwd, is deze wijze van isolatie in een situatie waar de interne vochtlast beperkt is niet als kritisch te beoordelen. In theorie is dit dus een correcte isolatiemethode. Het is aannemelijk dat de lemen raaplaag een verhoogd vochtgehalte bezit, omdat dit de positie is waar mogelijke condensatie ontstaat.



Figuur 47 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn met pijlen weergegeven in bovenstaande figuur):

- A. De buitenste zone (3 mm) van de houtvezelplaten op de grens met de raaplaag van de buitenmuur.
- B. De binnenste zone (3 mm) van de leemlaag, in het contactvlak met de houtvezelplaten.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houtvezel-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	--
Binnenklimaatklasse 3	o	o	--
Binnenklimaatklasse 4	-	-	--

Uit de berekeningen blijkt dat de vochtcondities aan de buitenzijde van de houtvezelisolatie geschikt zijn voor beperkte vochtbelastingen. Bij hogere vochtbelastingen worden de vochtcondities ongunstig en kan bij de buitenrand van de isolatie enige aantasting van de houtvezels ontstaan. Aangezien de Pavadentro-platen mechanisch zijn bevestigd, zal dit naar verwachting geen merkbaar effect hebben op de wand.

Vochtcondities bij buitengrenslaag leemstuc laag

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	--
Binnenklimaatklasse 3	o	o	--
Binnenklimaatklasse 4	-	-	--

Uit de berekeningen blijkt dat de vochtcondities aan de leemlaag geschikt zijn voor beperkte vochtbelastingen. Bij hogere vochtbelastingen worden de vochtcondities ongunstig, hoewel het onwaarschijnlijk is dat hier schade zal ontstaan.. Voor de selectie van de leemstuc laag moet bij voorkeur worden gezorgd dat er zo min mogelijk organische toeslagmiddelen worden toegepast. Aangezien het Pavadentro-systeem mechanisch is bevestigd, zal een hogere vochtbelasting waarschijnlijk geen merkbaar effect hebben op de wand.

5.11.3 Resultaten gevelisolatie woonkamer balk 4

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
2,26	2,1 (0,3/1,8)	WNW-gevel, balk 4	Woonkamer	Gevel t.p.v. balkoplegging	Hoog	Ja	18,5/20,5

Vochtmetingen



Figuur 48 Houtvochtgehalte op verschillende posities

Waarnemingen

- Uitgenomen houtvezelplaat lijkt nat te zijn geweest aan metselwerkzijde (donkere verkleuring).
- Lemen raaplaag heeft een verhoogd vochtgehalte.

Analyse

De donkere verkleuring die waargenomen is op de uitgenomen houtvezelplaat is vermoedelijk het gevolg van het monteren in de nog vochtige raaplaag, conform het montagevoorschrift. Omdat dit materiaal theoretisch capillair actieve eigenschappen bezit en het systeem dampopen is opgebouwd, is deze wijze van isolatie in een situatie waar de interne vochtlast beperkt is niet als kritisch te beoordelen. In theorie is dit dus een correcte isolatiemethode. Het is aannemelijk dat de lemen raaplaag een verhoogd vochtgehalte bezit, omdat dit de positie is waar mogelijke condensatie ontstaat.

Bouwfysische berekening

Conform bouwfysische berekeningen in § 5.11.2 vanwege exact dezelfde constructieopbouw.

5.12 Casus 12

Deze casus betreft een geschakeld woonhuis in de binnenstad met veel bezonning, matige beschaduwing en een hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 25 mei 2022 uitgevoerd en in dit pand is de gevelisolatie onderzocht aan de zuidzuidoostgevel.

5.12.1 Algemeen

De metselwerk gevel is in 2017 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 40 mm XPS-platen zonder dampremmende folie.

5.12.2 Resultaten gevelisolatie

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [$m^2 K/W$]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
1,72	7,2 (3,3/3,9)	3 ^{de} verdieping ZZO-gevel	Woonkamer	Gevel t.p.v. dwarsbalk en anker	Hoog	Ja	17/20,5

Vochtmetingen



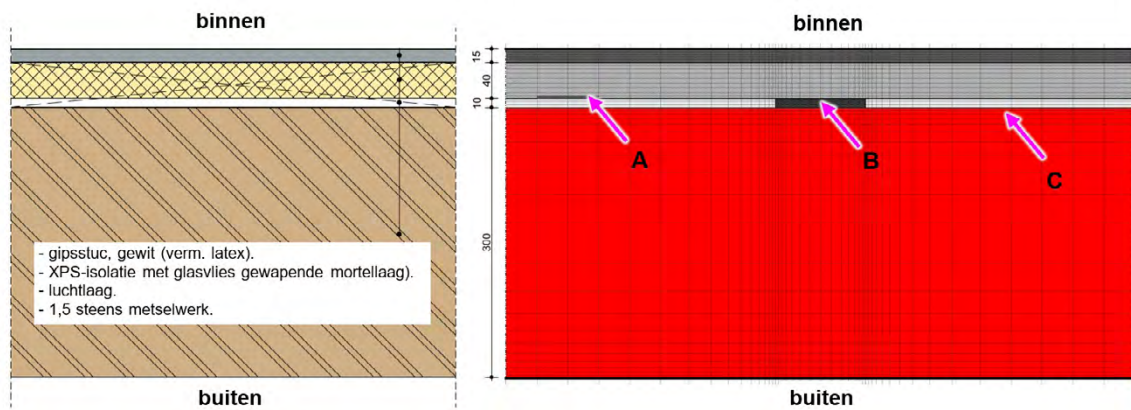
Figuur 49 Houtvochtgehalte op verschillende posities

Waarnemingen

- Strook vrijgehouden rondom isolatieplaat (ca. 15 mm), zijstroken opgevuld met compriband, bovenzijde (tussenisolatieplaat en balk) niet opgevuld.
- Gevel is niet gehydrofobeerd en er is geen vorstschade, zoutuitbloei of biologische aantasting geconstateerd.
- Uitgenomen isolatiemateriaal en gipspleister aan de binnenzijde vertonen geen tekenen van vochtinwerking.
- Condensatie ter plaatse van beglazing.

Analyse

Er zijn geen constatering gedaan die kunnen duiden op vochtproblematiek. Afgezien van het feit dat een dampremmende laag theoretisch aan de vertrekzijde aangebracht dient te worden, is deze isolatiemethode niet direct als incorrect te beoordelen. XPS (40 mm) is van zichzelf namelijk relatief dampremmend, waardoor een aanvullende dampremmende folie aan de vertrekzijde vaak niet noodzakelijk is als de interne vochtbelasting niet hoog is.



Figuur 50 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. De buitenste zone (3 mm) van de XPS-bouwplaat in het contactvlak met de dotted specie.
- B. De binnenste zone (3 mm) van de pleisterresten/speciedotten, grenzend aan de XPS-isolatie.
- C. De binnenzijde van het buitenblad, grenzend aan de luchtlaag (baksteen).

Vochtcondities bij buitengrenslaag XPS-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	++
Binnenklimaatklasse 3	++	++	++
Binnenklimaatklasse 4	++	++	++

Uit berekeningen blijkt dat de dikke (anderhalf steens) baksteen buitenwand er voor zorgt dat de vochtcondities aan de binnenzijde van de XPS-bouwplaat voldoende gunstig zijn om de aangehouden vochtbelastingen te kunnen opvangen. In geen van de berekende scenario's worden problemen verwacht.

Vochtcondities bij buitengrenslaag lijmlaag

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	++
Binnenklimaatklasse 3	++	++	++
Binnenklimaatklasse 4	++	++	+

Uit berekeningen blijkt dat de dikke (anderhalf steens) baksteen buitenwand er voor zorgt dat de vochtcondities in de lijm(mortel)laag van de XPS-bouwplaat voldoende gunstig zijn om de aangehouden vochtbelastingen te kunnen opvangen. In geen van de berekende scenario's worden problemen verwacht.

Vochtcondities bij binnengrenslaag baksteen

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	++	++	++
Binnenklimaatklasse 3	++	++	++
Binnenklimaatklasse 4	+	+	+

Uit berekeningen blijkt dat de dikke (anderhalf steens) baksteen buitenwand er voor zorgt dat de vochtcondities aan de binnenzijde van de baksteen voldoende gunstig zijn om de aangehouden vochtbelastingen te kunnen opvangen. In geen van de berekende scenario's worden problemen verwacht.

5.13 Casus 13

Deze casus betreft een geschakeld woonhuis in de binnenstad met een matige bezonning (behalve dakvlak op zuid), veel beschaduwing en hoge slagregenbelasting. Het onderzoek is op 1 juni 2022 uitgevoerd en in dit pand is de dakisolatie onderzocht aan de noordzijde van het pand, ter hoogte van de borstwering.

5.13.1 Algemeen

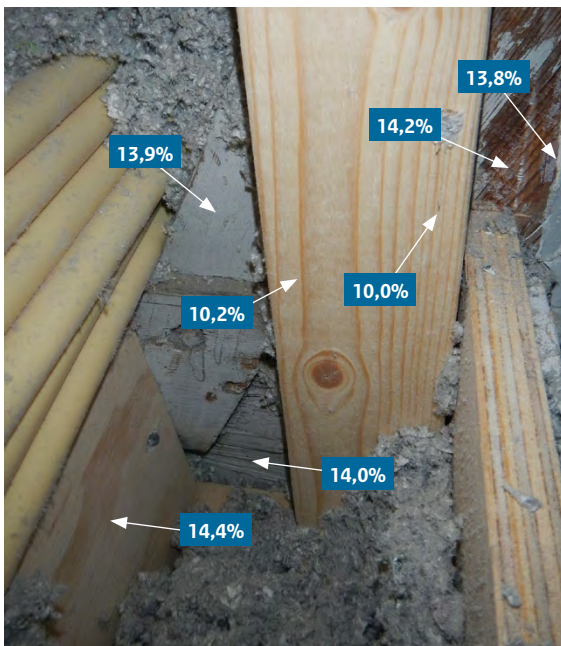
Het pannendak is in 2016 dampopen geïsoleerd aan de binnenzijde met 100 mm cellulose vlokken.

5.13.2 Resultaten dakisolatie

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_{e} [$\text{m}^2\text{K/W}$]	S_{d} [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	$T_{\text{bi}}/T_{\text{be}}$ [$^{\circ}\text{C}$]
2,88	3,7 (0,5/3,2)	2 ^{de} verdieping N-zijde	Overloop	Dak, achter borstwering, t.p.v. blokkeel	Hoog	Ja	15,5/19

Vochtmetingen



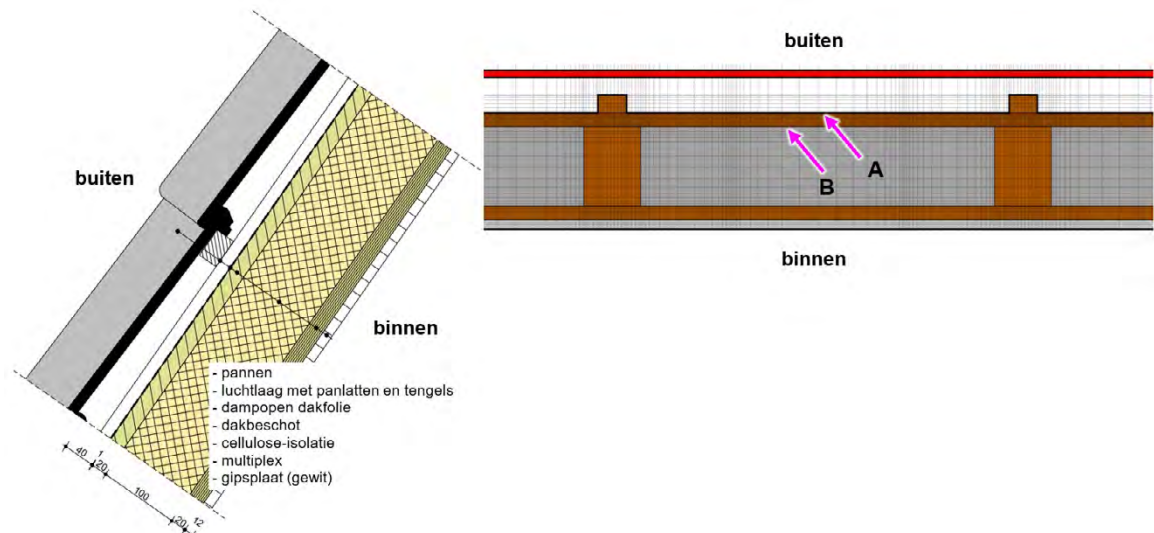
Figuur 51 Houtvochtgehalte op verschillende posities

Waarnemingen

- Constructie droog, geen sporen van condensatie of vochtproblemen waarneembaar.
- Isolatiemateriaal is intact en niet nat geweest.

Analyse

Ter plaatse van de geopende constructie zijn geen sporen van condensatie of vocht aangetroffen. In theorie is dit echter geen correcte isolatiemethode, daar geen dampremmende laag aanwezig is aan de vertrekzijde.



Figuur 52 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. de buitenlaag (3 mm) van het houten dakbeschoot, direct onder de waterkerende folie.
- B. De buitenlaag (3 mm) van de cellulose-isolatie, direct onder het dakbeschoot.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten dakbeschoot

Beoordelingspositie A	0% - regen	1% - regen	10% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	+
Binnenklimaatklasse 3	+	+	+
Binnenklimaatklasse 4	o	o	o

Uit de berekeningen blijkt dat door de toepassing van de waterkerende/werende dakfolie de houten dakconstructie niet beïnvloed wordt door regenwater. De dakconstructie is nog wel gevoelig voor het binnenklimaat maar het risico op schade is gering, mede doordat de dakconstructie door de dampopen uitvoering weer snel kan drogen.

Vochtcondities bij buitengrenslaag cellulose isolatie

Beoordelingspositie B	0% - regen	1% - regen	10% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	+	+
Binnenklimaatklasse 3	+	+	+
Binnenklimaatklasse 4	o	o	o

Uit de berekeningen blijkt dat door de toepassing van de waterkerende/werende dakfolie de cellulose-isolatie niet beïnvloed wordt door regenwater. De cellulose is nog wel gevoelig voor het binnenklimaat maar het risico op schade is gering, mede doordat de dakconstructie door de dampopen uitvoering weer snel kan drogen.

5.14 Casus 14

Deze casus betreft een vrijstaand woonboerderij in een stedelijke omgeving met een matige bezonning (behalve dakvlak op zuid) en beschaduwing en geringe slagregenbelasting. Het onderzoek is op 16 juni 2022 uitgevoerd en in dit pand zijn de dakisolatie onderzocht en de gevelisolatie van de woonkamer.

5.14.1 Dakisolatie

5.14.1.1 Algemeen

Het rieten dak is in 1993/1994 dampopen/dampdicht⁴⁰ geïsoleerd aan de binnenzijde met 200 mm glaswol platen.

5.14.1.2 Resultaten dakisolatie

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_c [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
6,05	>0,8 (>0,6/0,2)	1 ^e verdieping, ZZO en ONO	Bergruimte/ spouw achter borstwering	Dak, t.p.v. kil	Laag	Nee	21,5/20,5

Vochtmetingen



Figuur 53 Houtvochtgehalte op verschillende posities.

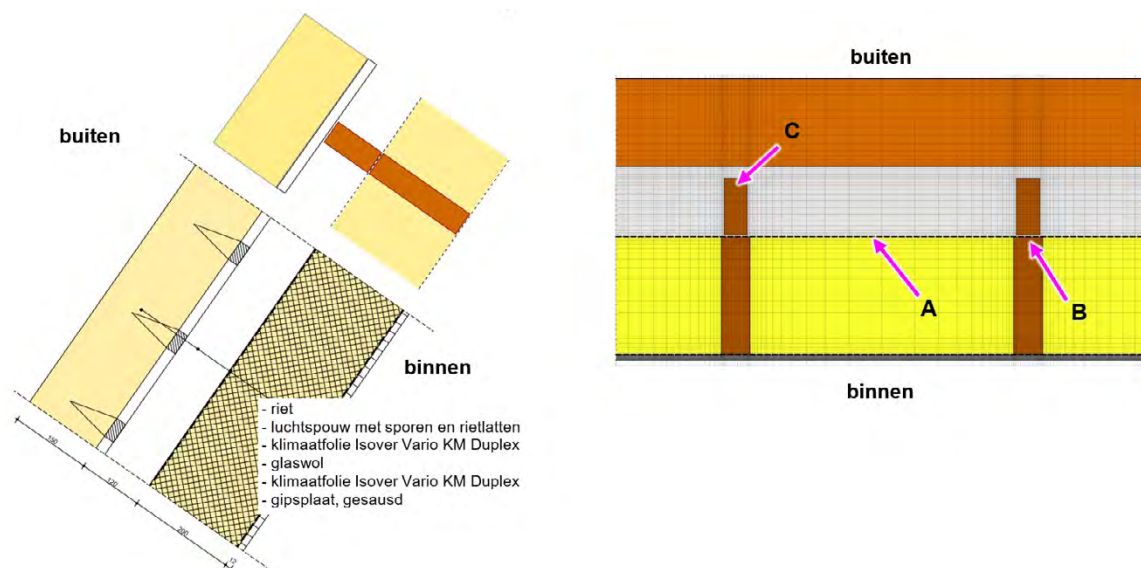
Waarnemingen

- Sporen en houten balken droog, isolatiemateriaal schoon en droog, geen sporen van vochtinwerking zichtbaar.
- Aantasting van houtworm zichtbaar in sporen. Naar verluidt behandeld.
- Mosgroei op buitenzijde rieten kap, ca. 30 jaar oud.
- Bij wind veel tocht via kap, volgens de bewoner duidelijk merkbaar in de binnentemperatuur en hoe hard de cv-ketel moet werken in de winter.

Analyse

In theorie is dit een correcte isolatiemethode, door de aanwezigheid van de klimaatfolie aan de vertrekzijde.

⁴⁰ Doordat klimaatfolie is toegepast varieert het dampdiffusieweerstandsgetal, waardoor het isolatiesysteem zowel dampopen als dampdicht kan functioneren.



Figuur 54 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. Het grensvlak van de glaswol en Isover Vario KM Duplex (aan de koude zijde).
- B. Het grensvlak van de nieuwe houten balklaag en Isover Vario KM Duplex (aan de koude zijde).
- C. De buitenzijde van oude houten sporenkap

Omdat de rietlaag onderdeel is van thermische schil, is deze berekend met 25% van de regenwaterbelasting.

Vochtcondities bij buitengrenslaag glaswol-isolatie

Beoordelingspositie A	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	--
Binnenklimaatklasse 3	--
Binnenklimaatklasse 4	--

Uit de berekeningen blijkt dat de vochtcondities in toplaag van de glaswol (koude zijde, grenzend tegen het folie) ongunstig zijn. De glaswolisolatie is in principe ongevoelig voor vocht maar eventueel condensvocht kan via de glaswol doorlekken naar andere constructiedelen die wel vochtgevoelig zijn. Bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn.

Vochtcondities bij buitengrenslaag oude houten sporen

Beoordelingspositie B	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	--
Binnenklimaatklasse 3	--
Binnenklimaatklasse 4	--

In de berekeningen is uitgegaan van een zwak-geventileerde spouw direct onder de rietlaag. Uit de berekeningen blijkt dat de vochtcondities daarbij dermate ongunstig zijn, dat er schade kan optreden aan de houten constructiedelen die in deze spouw zitten. Bij de rekenscenario's met de hoogste vochtbelasting is er sprake van enige vochttopbouw maar dit blijkt op jaarbasis in balans te zijn. Uit de detailberekening blijkt dan ook dan bij een dergelijke na-isolatiemethode, de

luchtsponw tussen het riet en isolatie voldoende moet worden geventileerd om schades te vermijden.

Vochtcondities bij buitengrenslaag nieuwe houten sporen

Beoordelingspositie C	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	o
Binnenklimaatklasse 3	o
Binnenklimaatklasse 4	o

5.14.2 Gevelisolatie

5.14.2.1 Algemeen

De metselwerk gevel is in 1993/1994 dampdicht geïsoleerd aan de binnenzijde met 70 mm steenwol platen en dampremmende dubbelgelamineerde aluminium noppenfolie (aan de buitenzijde van de isolatie). De gevel is niet gehydrofobeerd.

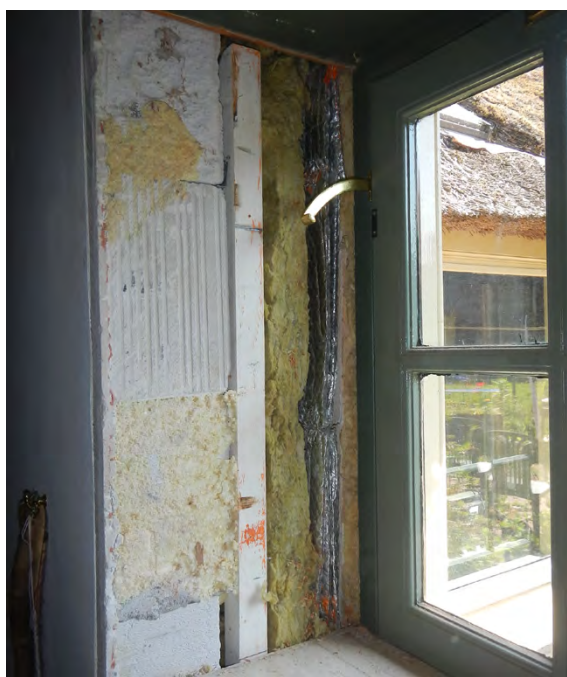
Resultaten gevelisolatie

Basisinformatie van de onderzochte positie

R_e [m^2K/W]	S_d [m]	Locatie	Ruimte	Knooppunt	Gebruik	Verwarmd	T_{bu}/T_{bi} [$^{\circ}C$]
3,35	17,5 (16,0/1,5)	Begane grond, gevel ONO	Woonkamer met open keuken	Gevel	Hoog	Ja	21,5/20,5

Vochtmetingen

Op deze positie zijn geen vochtmetingen uitgevoerd.



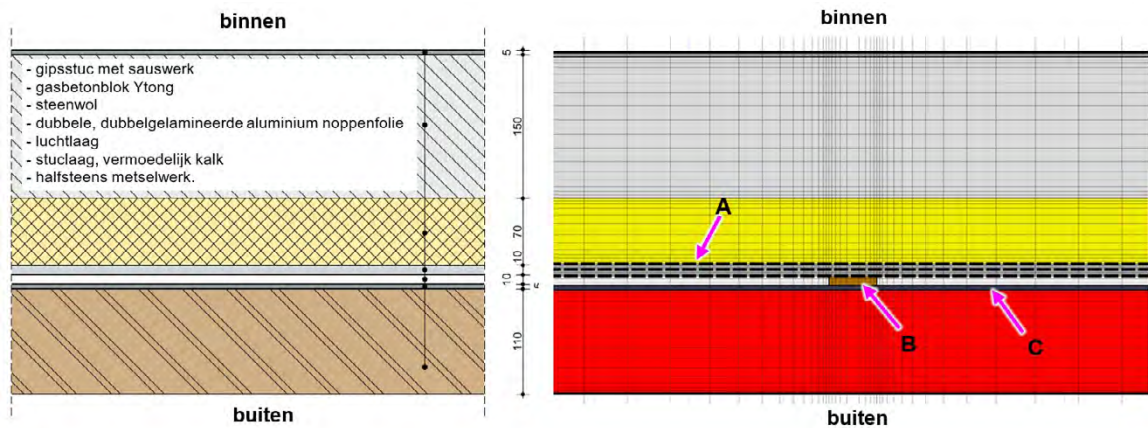
Figuur 55 Aanzicht opengemaakte constructie.

Waarnemingen

- Constructie droog, geen sporen van condensatie of vochtproblemen waarneembaar.
- Zoutuitbloei en vochtinwerking zichtbaar t.p.v. onderste rand boven de vloer, binnenzijde gevel, begane grond, naar verluidt ca. 15 jaar geleden overstroming geweest.
- Gevel ooit gereinigd met waterstoffluoride (ca. 30 jaar geleden).
- Schimmelgroei op binnenwand slaapkamer aanwezig t.p.v. onderrand vloerniveau, begane grond, hier is een betonnen opstand gestort (waterkering) die als koudebrug fungeert.

Analyse

In theorie is dit geen correcte isolatiemethode, aangezien de dampremmende laag zich aan de verkeerde zijde van de steenwolisolatie bevindt. In de constructie zijn echter geen waarnemingen gedaan die kunnen duiden op het ontstaan van inwendige condensatie.



Figuur 56 Bouwfysische berekening

De onderzochte maatgevende posities bij deze constructie zijn (zie de pijlen in bovenstaande figuur):

- A. Dit betreft de buitenste zone van de steenwol in het contactvlak met de folie.
- B. Dit betreft de veronderstelde houten rachel.
- C. De binnenzijde van het buitenspouwblad (kalkstuc laag), grenzend aan de luchtlaag.

Vochtcondities bij buitengrenslaag steenwol-isolatie

Beoordelingspositie A	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	--	--	--
Binnenklimaatklasse 3	--	--	--
Binnenklimaatklasse 4	-- I	-- I	-- I

Uit de berekeningen blijkt dat de vochtcondities bij de buitenzijde van de steenwol in alle scenario's ongunstig zijn. In alle scenario's zal er condensatie kunnen ontstaan tegen het folie. Het folie en de glaswol zijn hier echter tegen bestand. Wel kan er mogelijk een situatie ontstaan dat condensvocht langs het folie naar beneden afstroomt en voor plassen zorgt aan de onderzijde.

Vochtcondities bij buitengrenslaag houten rachels

Beoordelingspositie B	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	--	--
Binnenklimaatklasse 3	+	--	--
Binnenklimaatklasse 4	+	--	--

Uit de berekeningen blijkt dat de vochtcondities bij de houten rachels sterk verslechteren bij enige blootstelling aan regen. Hieruit kan worden afgeleid dat deze detailoplossing alleen toepasbaar is bij gevels die goed zijn afgeschermd van regen.

Vochtcondities bij binnengrenslaag raaplaag

Beoordelingspositie C	0% - regen	10% - regen	25% - regen
Binnenklimaatklasse 2	+	--	--
Binnenklimaatklasse 3	+	--	--
Binnenklimaatklasse 4	+	--	--

Uit de berekeningen blijkt dat de vochtcondities bij de raaplaag sterk verslechteren bij enige blootstelling aan regen. Er dient te worden gezorgd dat er geen vochtgevoelige bouwmaterialen en/of verontreinigingen tegen de raaplaag verwerkt zijn.

5.15 Totaaloverzicht metingen en resultaten

Hieronder zijn de meest relevante parameters en onderzoeksresultaten van de casussen weergegeven.

Tabel 10 Totaaloverzicht dakisolatie

Casus	Isolatie	Systeem	Positie	R_c	S_d		Vocht hout (% max)	Resultaat theoretisch	Resultaat onderzoek
					Totaal	Warme zijde			
1	Buitenzijde	Dampdicht	1	2,95	7,6	7,3	24,9%*	Correct	Positief
2	Buitenzijde	Dampdicht	1	6,32	143	143	-- **	Correct	Positief
			2	6,46	146	146	-- **		Positief
3	Buitenzijde	Dampopen	1	2,52	0,9	0,7	-- **	Incorrect	Positief
4	Binnenzijde	Dampdicht	1	2,57	6,7	3,7	13,5%	Correct	Positief
8	Combinatie	Dampopen	1	4,20	3,5	3,5	21,8%*	Incorrect	Positief
10	Binnenzijde	Dampdicht	1	2,37	7,3	4,2	15,8%	Correct	Positief
13	Binnenzijde	Dampopen	1	2,88	3,7	0,5	14,4%	Incorrect	Positief
14	Binnenzijde	Klimaatfolie	1	6,05	>0,8	>0,6	19,9%	Correct	Positief

* Weliswaar kritisch maximaal houtvochtgehalte maar veroorzaakt door inwatering.

** Geen houtvochtmeting uitgevoerd, maar geen vochtinwerking of condensatiesporen geconstateerd.

Tabel 11 Totaaloverzicht gevelisolatie

Casus	Isolatie	Systeem	Positie	R_c	S_d		Vocht hout (% max)	Resultaat theoretisch	Resultaat onderzoek
					Totaal	Warme zijde			
1	Binnenzijde	Dampdicht	1	3,06	6,5	4,1	26,2% *	Correct	Positief
3	Binnenzijde	Dampdicht	1	1,74	6,3	3,3	-- **	Correct	Positief
			2	1,75	6,4	3,3	15,8%		Positief
4	Binnenzijde	Dampdicht	1	1,43	13,2	10,1	13,3%	Correct	Positief
			2	1,43	13,2	10,1	12,8%		Positief
			3	1,43	13,2	10,1	15,8%		Positief
5	Binnenzijde	Dampdicht	1	2,90	7,4	3,7	14,2%	Correct	Positief
			2	2,91	7,4	3,7	-- **		Positief
			3	2,90	7,4	3,7	14,1%		Positief
6	Binnenzijde	Dampdicht	1	2,83	18,1	15,2	14,7%	Correct	Positief
			2	2,82	18,0	15,2	12,9%		Positief
7	Binnenzijde	Dampdicht	1	2,14	5,4	2,5	12,9%	Correct	Positief
			2	2,14	5,4	2,5	-- **		Positief
			3	2,14	5,4	2,5	14,2%		Positief
			4	2,14	5,4	2,5	12,3%		Positief
9	Binnenzijde	Dampopen	1	2,14	3,3	0,4	20,0%	Incorrect	Negatief
10	Binnenzijde	Dampdicht	1	2,89	7,0	3,7	14,0%	Correct	Positief
11	Binnenzijde	Capillair actief	1	2,26	2,1	0,3	-- **	Correct	Positief
			2	2,26	2,1	0,3	14,5%		Positief
12	Binnenzijde	Dampdicht	1	1,72	7,2	3,3	13,5%	Correct	Positief
14	Binnenzijde	Dampdicht	1	3,35	17,5	16,0	-- **	Incorrect***	Positief

* Weliswaar kritisch maximaal houtvochtgehalte maar veroorzaakt door inwatering.

** Geen houtvochtmeting uitgevoerd, maar geen vochtinwerking of condensatiesporen geconstateerd.

*** Dampremmende laag aanwezig maar niet aan binnenzijde aangebracht en isolatiemateriaal van zichzelf onvoldoende dampremmend.

6 Bevindingen en aanbevelingen

6.1 Bevindingen

Het praktijkonderzoek geeft een indicatieve afspiegeling van de praktijk. Het is echter te beperkt qua steekproefgrootte, meetperiode en verzamelde data om representatief genoemd te kunnen worden voor de totale groep woonhuismonumenten. Het openmaken van de constructies heeft een unieke en zeer waardevolle inkijk gegeven in de bouwfysische toestand van isolatieconstructies in woonhuismonumenten. In combinatie met de ervaringen die zijn opgedaan met de gevolgte onderzoeksmethodiek biedt dit een goed vertrekpunt voor gericht vervolgonderzoek.

Bij de onderzochte panden die op een volgens de theorie incorrecte wijze zijn nageïsoleerd, lijkt het vaak toch goed te gaan, bijvoorbeeld doordat ontstane inwendige condensatie in de zomer voldoende kan drogen. Een voorbeeld hiervan is isolatie rond balkkoppen. Tijdens het onderzoek is geconstateerd dat het materiaalvochtgehalte vaak licht verhoogd is daar waar de balk aan de isolatie grenst, echter kritische waarden zijn niet gemeten.

Tijdens het onderzoek is slechts bij één van de veertien onderzochte panden geconstateerd dat zich ter plaatse van de isolatie vochtproblemen voordoen (casus 9). Het betreft hier een steens gevel waartegen aan de binnenzijde een isolatiesysteem is aangebracht met minerale wol, aan de binnenzijde afgewerkt met gewit plaatmateriaal. Vanwege het ontbreken van een dampremmende laag aan de binnenzijde in combinatie met een dampopen niet capillair actief isolatiemateriaal, was dit vanuit de theorie gezien een risicovolle wandopbouw. De aangetroffen isolatie was vochtig en op het plaatmateriaal waren schimmels aanwezig, wat er op duidt dat de onderzochte positie langdurig vochtig was. De geconstateerde problematiek is waarschijnlijk het gevolg van een combinatie van inwendige condensatie en een verminderde droging van de gevel na regenval, als gevolg van de aanwezige isolatie. De gevel is slechts op één positie onderzocht en het pand is verder bouwtechnisch niet onderzocht. Derhalve is niet met zekerheid te zeggen of de geconstateerde problematiek het gevolg is van een onjuiste isolatie wijze of dat andere factoren, zoals mogelijke lekkages, hier (ook) een rol spelen. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

Uit de verkregen onderzoeksresultaten blijkt voorts dat bij de andere onderzochte casussen waar de opbouw van de aangebrachte isolatie niet overeenkomt met de richtlijnen, geen vochtproblematiek geconstateerd is op de opengemaakte posities. Het betreft hier de dakisolatie van casus 3, 8 en 13 (ontbreken van dampremmende of waterkerende laag), en de gevelisolatie van casus 14 (ontbreken van dampremmende laag aan de vertrekzijde). Het feit dat hier geen problemen zijn aangetroffen, is mogelijk te verklaren door een beperkte interne vochtlast, al dan niet in combinatie met een binnenafwerking die dampremmende eigenschappen bezit, zoals enkele lagen latexverf.

In veel van de onderzochte panden is de gevelisolatie los geplaatst van het metselwerk, door toepassing van een luchtsponw van enkele centimeters. Hierdoor is er geen fysiek contact tussen metselwerk en isolatiemateriaal, wat een gunstig effect kan hebben op het isolatiemateriaal in het geval van vochtdoorslag door de gevel of condensatieverschijnselen. Echter door de sponw is de kans op convectief vochttransport groter bij onjuiste uitvoering waarbij lucht van binnenuit tot achter de isolatie kan dringen wat een negatief effect kan hebben. Alleen bij een goede luchtdichte uitvoering én een situatie waarin een zekere ventilatie gewaarborgd kan worden, kan een sponw een positieve bijdrage hebben, maar doorgaans is dit effect gering.

De vanuit de theorie te verwachten mogelijke negatieve neveneffecten van na-isolatie, zoals vorstschade of het optreden van biologische groei aan de gevel, is niet of nauwelijks geconstateerd. Bij één casus is op het rieten dak mosgroei geconstateerd, maar het betreft hier een dak dat ongeveer 30 jaar geleden voor het laatst gedekt is. Bij een andere casus vertoont het metselwerk lichte beschadigingen, mogelijk als gevolg van vorstschade. Hierbij speelt ook de kwaliteit van de gevelstenen een rol. Zachte gevelstenen hebben hier meer last van dan harde stenen.

Uit het aanvullend uitgevoerde hygrothermisch simulatieonderzoek is naar voren gekomen dat het binnenklimaat en de regenbelasting grote invloed kunnen hebben op het al dan niet ontstaan van vochtproblemen. In bepaalde situaties lijkt de invloed van regenbelasting zelfs groter dan van het binnenklimaat. Derhalve is regenbelasting een factor waarmee terdege rekening gehouden moet worden. Slecht voegwerk wat verder niet in de simulaties is meegenomen, kan dit fenomeen nog verergeren. Het simulatieonderzoek laat zien dat isolatieconcepten die bij lagere vochtbelastingen in theorie geen problemen opleveren mogelijk bij hogere vochtbelastingen wel risicovol

worden. Het uitblijven van vochtproblemen van onderzochte risicovolle isolatieconcepten kan dus mede het gevolg zijn van gunstige binnenklimaatcondities. Het is echter mogelijk dat bij wijziging in gebruik (functie, intensiteit, binnentemperatuur, vochtproductie, etc.) in deze gevallen wel problemen gaan optreden.

Het onderzoek heeft veel waardevolle informatie opgeleverd, maar er kunnen geen harde conclusies uit worden getrokken vanwege onder meer de volgende redenen⁴¹:

- Het aantal onderzochte casussen (veertien) in relatie tot de hoeveelheid na-geïsoleerde woonhuismonumenten is zeer beperkt, waardoor de selectie uit de totale populatie niet als een representatieve steekproef gezien kan worden;
- De toegepaste onderzoeksmethodiek is afgestemd op de voor het project beschikbare tijdsspanne en budget. De praktijkmetingen zijn statisch uitgevoerd hetgeen onvoldoende inzicht oplevert in de dynamiek die kenmerkend is voor bouwfysische verschijnselen;
- Het risico op vochtproblemen is vaak het grootst bij de kritische aansluitdetails. Vanwege de beperkingen van dit onderzoek zijn deze hier niet specifiek onderzocht;
- De inwendige vochtbelasting ten gevolge van het gebruik van het pand kan per situatie sterk variëren. Een pand dat bijvoorbeeld bewoond is door één persoon en waar de isolatie in theorie incorrect is aangebracht zal daardoor mogelijk geen problemen laten zien, terwijl dit in een andere gebruikssituatie wel het geval zou kunnen zijn. De gebruiksintensiteit zou per pand gedetailleerd in kaart moeten worden gebracht.

Omdat factoren als binnenklimaat en gebruiksintensiteit zeer bepalend kunnen zijn voor het optreden of uitblijven van vochtproblemen in de constructie, vormen de bevindingen geen indicatie voor andere gebouwtypen zoals monumentale utiliteitsbouw. De gebruiksintensiteit wijkt hier namelijk sterk af van woongebouwen - onder meer vanwege hogere piekbelastingen met name overdag - hetgeen zijn weerslag heeft op de interne vochtbelasting en andere binnenklimaatcondities.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek worden de volgende aanbevelingen ter overweging gegeven:

1. Het zou interessant zijn om gericht monumenten met vochtproblemen ten gevolge van na-isolatie te onderzoeken. Dit biedt de mogelijkheid om beter inzicht te krijgen in de factoren die een rol spelen bij de totstandkoming van vochtproblemen, zoals het gekozen isolatiesysteem in combinatie met gebruiksintensiteit en klimaatcondities;
2. Om de bouwfysische prestaties van isolatieoplossingen beter inzichtelijk te maken, zouden met name ook kritische aansluitdetails van de bouwconstructie (gevel, vloer, plafond) onderzocht moeten worden. Op basis hiervan zijn ook de mogelijkheden tot in- en exfiltratie en de daarmee samenhangende gunstige of ongunstige droging ook beter in te schatten en kan het simulatiemodel verbeterd worden;
3. Om een representatiever beeld te krijgen van de bouwfysische risico's van bepaalde isolatiemethoden, dienen panden geselecteerd te worden die een intensief gebruik en daarmee een hoge interne vochtbelasting kennen;
4. Bouwfysische risico's hangen niet alleen samen met het gebruik, maar ook met bouwfouten en gebreken die voor kunnen komen, alsmede met de gevolgen van een te hoog vochtgehalte voor de constructie. In dit opzicht speelt de kwaliteit van het voegwerk een belangrijke rol als het gaat om regendoorslag via de gevel, maar bijvoorbeeld ook het vochttransport door luchtstromingen door de constructie. Dit zou daarom in vervolgonderzoek meegenomen moeten worden;
5. Om de simulaties nog beter op de werkelijkheid aan te laten sluiten zouden de materiaaleigenschappen van de toegepaste baksteen (alsmede geveldikte), isolatiematerialen, et cetera beter gekend moeten zijn door middel van aanvullend materiaalonderzoek. Zo hebben historische baksteen een andere bouwfysische karakterisatie dan moderne bakstenen.^{42, 43} Dit kan van invloed zijn op de simulatieresultaten en de inschatting van de grootte van het bouwfysisch risico, zoals in § 3.3.3.3 al werd benoemd.

⁴¹ Het Centaal College van Deskundigen (CCvD) van de Stichting ERM heeft aangegeven dat meer essentiële gegevens verzameld moeten worden om significante conclusies te kunnen trekken. Hiervoor is aanvullend en verdiepend onderzoek met een representatieve steekproefgrootte nodig.

⁴² ROELS, S. et al. (2023). Hygrothermal properties relationships in historic bricks, ICMB23.

⁴³ Vereecken, E. et al. (2025). Hygrothermal Properties of Historic Bricks: An International Characterization and Correlation Analysis. Parijs, Stone 2025, p. 679-685

6. Bij aanvullend onderzoek zou over een langere periode gemonitord moeten worden, waardoor mogelijke effecten veroorzaakt door bijvoorbeeld een strengere winter meegenomen kunnen worden. Dit betekent concreet dat de monitoringsperiode over meerdere jaren verloopt en dat per casus een uitgebreide meetsetup geïnstalleerd wordt om bijvoorbeeld het vochtgehalte op meerdere punten in de constructie te kunnen monitoren. Parameters zoals binnenluchtcondities (temperatuur en relatieve luchtvochtigheid), vochtgehalte in de constructie, buitenluchtcondities, bezonning en slagregenhoeveelheden zouden hierin meegenomen moeten worden.
7. Om de geconstateerde bouwfysische problemen bij het pand van casus 9 nader te kunnen duiden zou het interessant zijn om de gebouwschil op meerdere posities open te maken, in combinatie met een bouwtechnisch onderzoek waarbij onder meer de staat van hemelwaterafvoeren en goten onderzocht wordt. Hieruit kan opgemaakt worden of de geconstateerde problemen zich voordoen op meerdere posities van de gebouwschil en of deze eventueel samenhangen met bouwkundige gebreken dan wel de isolatiemethode of de uitvoering hiervan. Het uitvoeren van een rekenkundige simulatie van de gevel kan ook informatie opleveren.

Checklist selectie casestudies

Naam invuller	
Datum opname	
Adres	
Naam gebouw	
Gebouwsoort	boerderij industrieel kantoor kasteel/buitenplaats molen ontspanning/cultureel openbaar religieus verdedigingswerk woonhuis
Gebouwtype	vrijstaand geschakeld gebouwencomplex

Dakisolatie aanwezig			ja nee
	Binnenzijde	Dampdicht	ja nee
		Dampopen	ja nee
		Capillair actief	ja nee
	Buitenzijde	Dampdicht	ja nee
		Dampopen	ja nee
		Capillair actief	ja nee
	Soort isolatiemateriaal		
	Type dak		hellend plat
	Dakhelling		
	Type dakbedekking		pannen lei riet metaal
	Verwarmde onderdakse ruimte		ja nee
	Jaar van uitvoering		

Gevelisolatie aanwezig			ja nee
	Binnenzijde	Dampdicht	ja nee
		Dampopen	ja nee
		Capillair actief	ja nee
	Buitenzijde		ja nee
	Spouw *)	Dampdicht	ja nee
		Dampopen	ja nee
	Soort isolatiemateriaal		
	Soort gevel		massief spouw
	Voorzetwand		ja nee
	Gevelafwerking		
	Jaar van uitvoering		

Vochtproblemen aanwezig		ja nee
	Zo ja, welke	
	Oriëntatie dak/gevel met vochtproblemen	N O Z W
	Oorzaak lekkages of optrekkend vocht	ja nee

Maatregelen uitgevoerd i.v.m. vochtproblemen verleden		ja nee
	Zo ja, welke	
	Jaar van uitvoering herstelwerk	

Opmerkingen van gebouwgebruiker		
	Naam	
	Opmerkingen	{bijvoorbeeld klachten over comfort, luchtkwaliteit of andere relevante info}

*) Spouwisolatie wordt niet meegenomen in onderzoek maar in selectiefase gevraagd zodat deze cases bij voldoende aanbod buiten de selectie gelaten kunnen worden.

Checklist uitvoering casestudies

Naam invuller		
Datum opname		
Adres		
Naam gebouw		
Gebouwsoort	boerderij industrieel kantoor kasteel/buitenplaats molen ontspanning/cultureel openbaar religieus verdedigingswerk woonhuis	
Gebouwtype	vrijstaand geschakeld gebouwencomplex	
Ligging	stedelijk landelijk	
Slagregenbelasting	laag matig hoog	
Bezonning	laag matig hoog	
Beschaduwing	laag matig hoog	
Conditie tijdens opname		
	Buitentemperatuur	
	RV buiten	
	Binnentemperatuur	
	RV binnen	
	Zon	geen weinig veel
	Wind	geen weinig veel
	Regen	geen weinig veel
Beeldmateriaal		
	Overzichtsfoto's buiten	
	Detailfoto's/films binnen	
	Detailfoto's/films buiten	
	Infraroodopnames	

Dakisolatie		
Onderzocht onderdeel (zo mogelijk nabij knooppunt dakconstructie)		
	Beschrijving knooppunt	
	Locatie in het gebouw	
	Soort gebruiksruimte	
	Gebruiksfrequentie ruimte	laag matig hoog
	Verwarmd	ja nee
	Warmtedistributie	radiatoren convectoren LTV luchtverwarming
	Ventilatiewijze	natuurlijk mechanisch gebalanceerd
Beschrijving opbouw geïsoleerd dak		
	Soort laag + materiaal (van buiten naar binnen)	Dikte
Isolatiewaarde		
	Rc-waarde	
Afwatering dak		goed slecht
	Wat is het gebrek	
Vochtproblemen aanwezig		ja nee
	Wat wordt er waargenomen	
	Soort vochtprobleem	
	Actief vochtprobleem	ja nee
	Vermoedelijke oorzaak	
	Materiaalvochtmeting	

Gevelisolatie		
Onderzocht onderdeel (zo mogelijk nabij knooppunt constructie)		
	Beschrijving knooppunt	
	Locatie in het gebouw	
	Soort gebruiksruimte	
	Gebruiksfrequentie ruimte	laag matig hoog
	Verwarmd	ja nee
	Warmtedistributie	radiatoren convectoren LTV luchtverwarming
	Ventilatiewijze	natuurlijk mechanisch gebalanceerd
Beschrijving opbouw geïsoleerd dak		
	Soort laag + materiaal (van buiten naar binnen)	Dikte
Isolatiewaarde		
	Rc-waarde	
	Thermische bruggen aanwezig	ja nee
	Omschrijving	
	Vochtproblemen aanwezig	ja nee
	Wat wordt er waargenomen	
	Soort vochtprobleem	
	Actief vochtprobleem	ja nee
	Vermoedelijke oorzaak	
	Materiaalvochtmeting	
	Vorstschade aanwezig	ja nee
	Wat wordt er waargenomen	
	Soort vorstschade	
	Vermoedelijke oorzaak	
	Overige aspecten	
	Gevel gehydrofobeerd	ja nee
	Zoutuitbloei	ja nee
	Biologische aantasting	ja nee
Details waarneming		
Opmerkingen van gebouwgebruiker		
	Naam	
	Opmerkingen	{bijvoorbeeld klachten over comfort, luchtkwaliteit of andere relevante info}

Bijlage B: Omgangsprotocol monumenteneigenaren

Werkwijze omgaan met pand en pand-eigenaren

28 september 2021

Inleiding

Voor het slagen van het project is goed contact met de eigenaren (resp. gebruikers) van het te onderzoeken pand essentieel. Uiteraard is ook zorgvuldige omgang met het pand randvoorwaarde.

In het projectplan (stap 2 Voorbereiden casestudies) is daarom opgenomen:

- Afspraken over het omgaan met pandeigenaren, gebouwgebruikers en aannemers (informatie; kostenvergoeding; verzekering)

In deze notitie een eerste (en op onderdelen verder uit te werken) opzet voor het omgaan met pand en pand-eigenaren:

Contactmomenten met de pand-eigenaar / gebruiker

1. Inventarisatie: doet u mee, wat zijn de kenmerken (Checklist Selectie)
 2. Selectie: uw pand is wel / niet geselecteerd
 3. Voorschouw: bezoek aan het pand om het praktijkonderzoek voor te bereiden en definitieve selectie
 4. Onderzoek op locatie: open maken, visuele beoordeling/meten, dicht maken
 5. Contact na afloop: bevindingen bij uw pand
 6. Afronding: u ontvangt het vastgestelde eindrapport
- E.v.t. nieuwsberichten worden desgewenst ook toegezonden.

Toelichting op contactmomenten

Ad 1) Inventarisatie: doet u mee, wat zijn de kenmerken

- In samenwerking met de betrokken adviseur/contactpersoon wordt de eigenaar /gebruiker gecheckt op bereidheid / medewerking van het praktijkonderzoek. De inzet is vanuit een warme ingang/warme overdracht naar het uitvoeringsteam.
- Bij een 'ja' worden de geïnventariseerde panden met de 'checklist selectie' verder in kaart gebracht. Dit gebeurt in overleg met de betrokken adviseur/contactpersoon. Waar nodig volgt ook hier contact met de gebruikers of de pand-eigenaar.

Ad 2) Selectie: uw pand is wel/niet geselecteerd

- De selectieformulieren worden als cases met elkaar getoetst op vergelijkbaarheid. De uitkomsten in het wel/niet selecteren van het pand worden persoonlijk met zowel de betrokken adviseur/contactpersoon en de eigenaar/pandgebruiker gedeeld in een telefoongesprek.
- Niet geselecteerd: in afstemming en met toestemming (AVG) met de eigenaar/gebruikers worden zij wel meegenomen in de algemene communicatiemomenten (bijv. via social media, nieuwsberichten of per mail) en ontvangen zij het vastgestelde eindrapport. Op deze manier willen we de eigenaren en adviseurs wel betrokken houden als 'ambassadeurs' in het thema, de noodzaak van verduurzaming en in de voortgang.
- Wel geselecteerd: afspraak voorschouw wordt gemaakt in overleg met de pand-eigenaar/gebruiker. Hierbij wordt ook gecommuniceerd wat de voorschouw inhoudt en wat verwacht wordt van de contactpersoon ter plaatse (tijdsspanne, toegankelijkheid van vertrekken etc.).
- Communicatie over eventueel anonimiseren of vertrouwelijkheid van de casus.

Ad 3) Voorschouw: bezoek aan het pand om het praktijkonderzoek voor te bereiden en definitieve selectie

- Afspraak met de pand-eigenaar en gebruiker(s).
- Karakter: kennismaking, technische voorschouw en bespreken verwachtingen en toezeggingen m.b.t. uitvoering, bezwaren, proces en team.
 - kennismaking met direct betrokkenen van het uitvoeringsteam (projectcommunicator; aannemer; bouwfysicus).
 - de projectcommunicator: rondom proces / luistert naar aandachtspunten en mogelijkheden m.b.t. sociaal/communicatie. Denk aan zoveel mogelijk beperken overlast (geluid, stof), communicatie, klachten (u kunt terecht bij...), informatievoorziening, afstemming verzekering, etc.

- de aannemer/bouwfysicus gaat in op de technische aanpak en neemt de eigenaar/gebruiker mee in de werkwijze en het feitelijk verloop van het onderzoek (open maken, meten, dichtmaken), duur van het onderzoek, relevante wensen en behoeften t.a.v. de aannemer tijdens het onderzoek (bespreken start en einde werktijden, schilderwerk).
- technische voorschouw: indicatieve infraroodopnamen (indien weersomstandigheden het toelaten), vaststellen van de meest in aanmerking komende posities voor het destructieve onderzoek, vaststellen van de benodigde opening (slechts boorgat t.b.v. endoscopie of opening van 50 x 50 cm?). Mogelijkheden bespreken met eigenaar. Vaststellen van de specifiek benodigde apparatuur (gatenboor, endoscoop, infraroodcamera, vochtmeter, ladder, hoogwerker etc.) Beoogde onderzoeksposities vastleggen op foto (o.a. van belang voor projectverzekering).
- De input van de technische voorschouw wordt verwerkt of aangepast in de huidige formulieren t.b.v. de definitieve selectie en uitvoering onderzoek.
- Evenals bij de selectieformulieren wordt ook naar aanleiding van de voorschouw een selectiemoment toegepast.
- Vanuit een stukje maatwerk worden aanvullende zaken/vragen/wensen met het uitvoeringsteam besproken en per mail/telefonisch teruggekoppeld met de pand-eigenaar/gebruiker(s).
- Afspraak plannen voor het onderzoek.

Ad 4) Onderzoek op locatie: open maken, visuele beoordeling/meten, dicht maken

- Onderzoekslocaties binnen dienen door de eigenaar vrijgemaakt te worden.
- Onderzoekslocatie wordt afgedekt/beschermd door aannemer.
- Onderzoekspositie worden geopend.
- Onderzoekspositie wordt visueel geïnspecteerd, waar nodig aangevuld met aanvullende metingen (infrarood/vochtmeting etc.).
- Onderzoekspositie wordt op foto vastgelegd.
- Onderzoekspositie wordt door aannemer dichtgemaakt en visueel hersteld.

Ad 5) Contact na afloop: bevindingen bij uw pand

- Nazorgronde 1 – maatwerk in afstemming bevindingen binnen uitvoeringsteam.
- Mocht er schade worden aangetroffen, wordt hierover persoonlijk contact opgenomen.
- Projectcommunicator (nazorg, evaluatie verwachtingen ook m.b.t. proces en onderzoek) en bouwfysicus/aannemer (evt. technische bevindingen).
- Toelichting/informerend wat gaan we met de huidige bevindingen doen, vervolgstap(pen), inzet verduurzamingsadviseur.
- Toesturen: Attentie/blijk van waardering, dank voor medewerking.

Ad 6) Afronding: u ontvangt het vastgestelde eindrapport

- Per e-mail schriftelijk toesturen naar zowel eigenaar, pandgebruikers en de betrokken adviseur/contactpersoon.
- Nazorgronde 2: Eventuele beantwoording extra vragen/toelichting op eindrapport door uitvoeringsteam aan eigenaar/pandgebruiker en betrokken adviseur/contactpersoon.
- Uitnodiging voor kennisbijeenkomst.

Uitgangspunten omgang met het pand

- Beperken omvang onderzoekslocatie;
 - het minimale open te maken oppervlak is 30 x 30 cm, in de communicatie houden we veiligheidshalve maximaal 50 x 50 cm aan.
 - Niet prominent in het oog vallende interieurposities hebben de voorkeur.
 - Bij het openmaken van daken: ter plaatse vaststellen, indien mogelijk van buitenaf (i.v.m. beperken schade).
 - Bij het openmaken van voorzetwanden: ter plaatse vaststellen: hoog of laag in de wand, oppervlakte en locatie.
- Gebruikmaking van stofafzuiging.
- Vloer en omliggende wanden/meubels worden zorgvuldig afgedekt en beschermd, indien nodig de gehele looproute met stuclopen afdekken.
- Rekening houden met mogelijk in de constructie aanwezige elektra-, gas- en waterleidingen!
- Beperkt aantal personen aanwezig tijdens het onderzoek, vooraf te communiceren met eigenaar.

Casus 1			
Gebouwsoort		Woonhuis	
Gebouwtype		Vrijstaand (smalle spouw tussen naastgelegen panden)	
Ligging		Stedelijk	
Slagregenbelasting		Matig tot hoog (voorgevel (westzijde) en dakvlak (zuidzijde))	
Bezonning		Matig	
Beschaduwing		Matig	
Conditie	Buitentemperatuur	Ca. 8°C	
	Binnentemperatuur	Badkamer ca. 15°C, kapverdieping ca. 18°C	
	Zon	Geen	
	Wind	Weinig	
	Regen	Weinig	
Dakisolatie			
Beschrijving knooppunt		Hoek muurplaat-gordingeind-strijkbalk-voorgevel	
Locatie in het gebouw		Kapverdieping, hoek zuidwest	
Soort gebruikruimte		Slaap- en speelkamer	
Gebruiksfrequentie		Hoog	
Verwarmd		Ja	
Warmtedistributie		Radiatoren	
Ventilatiewijze		Natuurlijk	
Isolatieopbouw	Laag 1	Keramische pannen (20 mm)	
	Laag 2	Luchtlaag met panlatten en tengels (50 mm)	
	Laag 3	Folie (2 mm)	
	Laag 4	Isolatieplaat PUR, alu gecacheerd (Verm. 60 tot 80 mm)	
	Laag 5	Dakbeschot, grenen (20 mm)	
	Laag 6	Gipsplaat, gewit (verm. latex) (12 mm)	
Rc-waarde		Ca. 2,5 tot 3,3 m ² K/W, afh. van isolatiedikte	
Afwatering dak		Onb.	
Gebreken		Pannen sluiten slecht aan, inwatering aannemelijk	
Vochtproblemen		Ja	
Waarnemingen		- Mat.vocht spant kamerzijde op ca. 1 m hoogte 17% - Mat.vocht spant t.h.v. muurplaat ca. 21-25% - Hout regelwerk mat.vocht. ca. 14% - Muurplaat ingerot vanaf gevelzijde, vochtig - Onderzijde spantbeen verhoogd vochtgehalte - Dakbeschot schoon, geen sporen van water/condens	
Soort vochtprobleem		Vochtopname a.g.v. inwatering/ capillair transport	
Actief vochtprobleem		Ja	
Vermoedelijke oorzaak		- Verm. vochttopname van voorgevel (regenwater) - Mogelijk ook inwatering via verholten goot?	
Materiaalvochtmeting		Zie boven	

Gevelisolatie		
Beschrijving knooppunt		Balkeind met oplegging in metselwerk
Locatie in het gebouw		Eerste verdieping, zuidgevel
Soort gebruikruimte		Badkamer
Gebruiksfrequentie		Laag (tijdelijk buiten gebruik i.v.m. lekkage)
Verwarmd		Ja
Warmte distributie		Radiatoren
Ventilatie wijze		Natuurlijk (raam)
Isolatieopbouw	Laag 1	Metselwerk, steens (18 cm)
	Laag 2	Spouw, variabele breedte (5 cm hoog, 1 cm laag)
	Laag 3	Regelwerk (hout) met PUR-isolatieplaat, alu gecacheerd (6 cm)
	Laag 4	Spouw, regelwerk (hout) (2 cm)
	Laag 5	Cementvezelplaat met tegels of stucwerk (1,5 cm)
Rc-waarde		Ca. 2,49 m ² K/W
Thermische bruggen		Ja
Omschrijving		I.p.v. balk en muuranker
Vochtproblemen		Ja
Waarnemingen		• Condensparels zichtbaar op hout gootklos • Gootklos vochtig (mat.vocht >26%) • Balkkop droog (mat.vocht <12%) • Voegwerk buitenzijde slecht • Isolatie schoon, geen sporen van vochtinwerking • Vloerdelen en/of balk aangetast, verm. houtrot • Vochtinwerking regelwerk achter cementplaat
Soort vochtprobleem		• Houtrot, corrosie schroeven cementplaat/regelwerk
Actief vochtprobleem		Ja
Vermoedelijke oorzaak		Water afkomstig van douche? Kit recent vernieuwd. Hemelwater van buitenaf, via dakfolie?
Materiaalvochtmeting		Zie boven
Vorstschade aanwezig		Nee
Waarnemingen		-
Soort vorstschade		-
Vermoedelijke oorzaak		-
Gevel gehydrofobeerd		Nee
Zoutuitbloei		Nee
Biologische aantasting		Nee
Opmerkingen		
Details waarneming		• Kwaliteit van dakpannen matig. • Hemelwater dat via pannen de onderliggende dakfolie bereikt stroomt mogelijk af langs gevel? Positie goot sluit aan op pannen, niet op isolatiepakket? • Isolatie aangebracht rond 2001. • Metselwerk vermoedelijk vochtig door beperkte doorwarming a.g.v. isolatie binnenzijde.

Dakpositie



Gevelpositie



Dakpositie: Detail



Gevelpositie: Detail



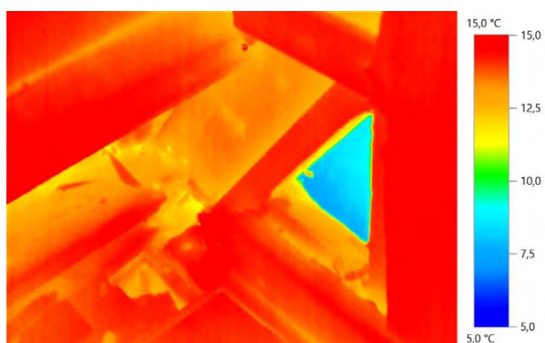
Dakpositie: Vochtmeting



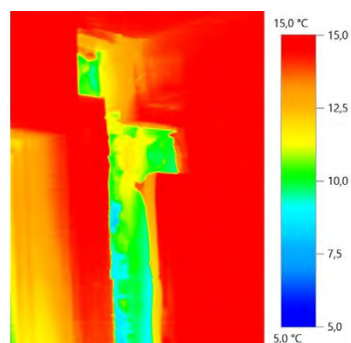
Gevelpositie: Vochtmeting



Dakpositie: Infraroodopname

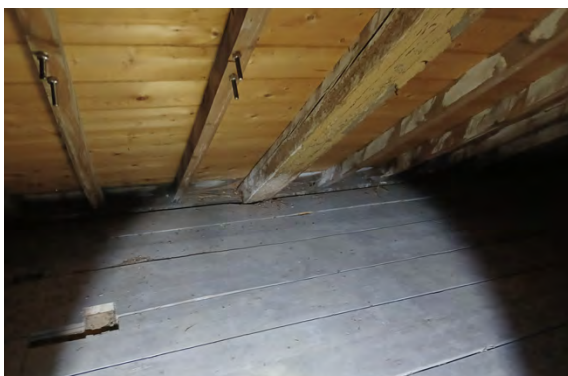


Gevelpositie: Infraroodopname



Casus 2			
Gebouwsoort		Woonhuis	
Gebouwtype		Vrijstaand	
Ligging		Landelijk	
Slagregenbelasting		Matig tot hoog (afhankelijk van geveloriëntatie)	
Bezonning		Hoog	
Beschaduwing		Matig	
Conditie	Buitentemperatuur	Ca. 11°C	
	Binnentemperatuur	Kapverdieping ca. 16°C	
	Zon	Weinig	
	Wind	Weinig	
	Regen	Geen	
Dakisolatie		Positie 1	Positie 2
Beschrijving knooppunt		Kapconstructie	Kapconstructie
Locatie in het gebouw		Voorgevelzijde (westnoordwest) boven entree	Achtergevelzijde oostzuidoost
Soort gebruiksruimte		Zolder, opslagruimte	Slaapkamer
Gebruiksfrequentie		Laag	Laag
Verwarmd		Nee	Nee
Warmtedistributie		-	-
Ventilatiewijze		Natuurlijk	Natuurlijk
Isolatieopbouw	Laag 1	Pannen (oud hollands geglazuurd) (20 mm)	Pannen (oud hollands geglazuurd) (20 mm)
	Laag 2	Luchtlaag met panlatten en tengels (50 mm)	Luchtlaag met panlatten en tengels (50 mm)
	Laag 3	Meerlaagse isolatiefolie (Actis Triso Laine MAX) (24 mm)	Meerlaagse isolatiefolie (Actis Triso Laine MAX) (24 mm)
	Laag 4	Dakbeschoot, grenen (20 mm)	Dakbeschoot, grenen (20 mm)
	Laag 5		Spantbenen/luchtspouw (80 mm)
	Laag 6		Grenen planken (20mm)
Rc-waarde		Ca. 6,35 m ² K/W	Ca. 6,58 m ² K/W
Afwatering dak		Goed	Voldoende
Gebreken		Pannen sluiten redelijk deel matig aan, inwatering aanmerkelijk bij regen i.c.m. wind	Pannen sluiten redelijk deel matig aan, inwatering aanmerkelijk bij regen i.c.m. wind
Vochtproblemen		Ja	Nee
Waarnemingen		- Het dakbeschoot is droog - Geen condensatie in of onder de isolatiefolie aangetroffen - Isolatie lijkt wel nat te zijn geweest (verkleuring) - Sporen van vocht op dakbeschoot (mogelijk nog van voor aanbrengen isolatie)	- Het dakbeschoot, de muurplaat, de daksporen en spanten zijn droog - Er zijn geen lekkage(s) aangetroffen - Leksporen zichtbaar aan sporen, vermoedelijk van voor aanbrengen isolatie
Soort vochtprobleem			
Actief vochtprobleem			
Vermoedelijke oorzaak			
Materiaalvochtmeting		Niet uitgevoerd	
Opmerkingen			
Details waarneming		Aangetroffen situatie aan de buitenzijde, na het openmaken: Er zijn relatief (te) dunne tengellatten aangebracht en door het “opbollen” van de isolatiefolie, komt de isolatiefolie tegen de onderzijde van de panlat en is er onvoldoende “vrije ventilatie ruimte” over tussen panlat en folie. Actis Triso Laine MAX heeft volgens fabrikant een isolatiewaarde vergelijkbaar met 244 mm minerale wol.	

Dakpositie 1: Binnenzijde



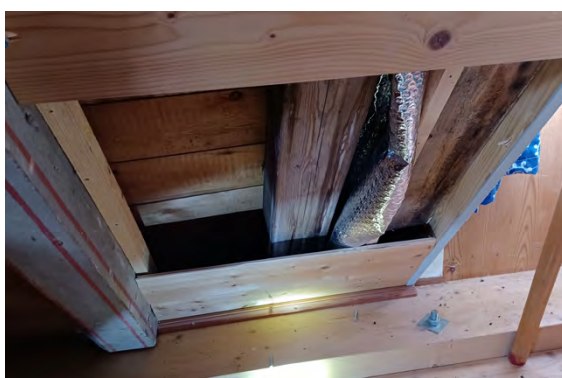
Dakpositie 2



Dakpositie 1: Buitenzijde



Dakpositie 2: Detail



Dakpositie 1: Detail



Dakpositie 2: Leksporen



Casus 3				
Gebouwsoort		Woonhuis		
Gebouwtype		Geschakeld		
Ligging		Stedelijk		
Slagregenbelasting		Hoog		
Bezoning		Hoog		
Beschaduwing		Matig		
Conditie's	Buitentemperatuur	8°C		
	Binnentemperatuur	20,3°C		
	Zon	Geen		
	Wind	Weinig		
	Regen	Geen		
Dakisolatie				
Beschrijving knooppunt		Dak, achter sporen		
Locatie in het gebouw		Kapverdieping ZO-zijde		
Soort gebruikruimte		Woonkamer		
Gebruiksfrequentie		Hoog		
Verwarmd		Ja		
Warmtedistributie		Radiatoren		
Ventilatiewijze		Natuurlijk		
Isolatieopbouw	Laag 1	Pannen (20 mm)		
	Laag 2	Panlatten en tengels en luchtlaag (geventileerd) (40 mm)		
	Laag 3	Folie (waterkerend) (- cm)		
	Laag 4	Steenwol (85 mm)		
	Laag 5	Dakplaat (spaanplaat) (15 mm)		
	Laag 6	Multiplex (gewit) (10 mm)		
Rc-waarde		Ca. 2,4 m ² K/W		
Afwatering dak		Goed (voor zover waarneembaar)		
Gebreken				
Vochtproblemen		Nee		
Waarnemingen				
Soort vochtprobleem				
Actief vochtprobleem		Nee		
Vermoedelijke oorzaak				
Materiaalvochtmeting		Niet gemeten, beplating droog		

Gevelisolatie		Positie 1	Positie 2
Beschrijving knooppunt		Na-geïsoleerde gevel badkamer	Gevel ZW-zijde t.p.v. gording door isolatie
Locatie in het gebouw		Badkamer, NW-zijde	Keuken kapverdieping
Soort gebruiksruimte		Badkamer	Open keuken in woonkamer
Gebruiksfrequentie		Matig	Hoog
Verwarmd		Ja	Ja
Warmtedistributie		Radiatoren	Radiatoren
Ventilatiewijze		Mechanisch	Natuurlijk
Isolatieopbouw	Laag 1	Pleisterlaag, geschilderd (min./synth. onb.) (10 mm)	Pleisterlaag, geschilderd (min./synth. onb.) (10 mm)
	Laag 2	Steens metselwerk (210 mm)	Steens metselwerk (210 mm)
	Laag 3	Raaplaag (20 mm)	Raaplaag (20 mm)
	Laag 4	Spouw (10 mm)	Stuc laag (5 mm)
	Laag 5	XPS-isolatie (40 mm)	XPS-isolatie (40 mm)
	Laag 6	Stucnet, stuc, latex (5 mm)	Stucnet, stuc, latex (5 mm)
Rc-waarde		Ca. 1,6 m ² K/W	Ca. 1,5 m ² K/W
Thermische bruggen		Nee	Nee (afgezien van gording)
Omschrijving			
Vochtproblemen		Nee	Nee
Waarnemingen			
Soort vochtprobleem			
Actief vochtprobleem		Nee	Nee
Vermoedelijke oorzaak			
Materiaalvochtmeting			12,0-15,8%
Vorstschade aanwezig		Nee	Nee
Waarnemingen			
Soort vorstschade			
Vermoedelijke oorzaak			
Gevel gehydrofobeerd		Nee	Nee
Zoutuitbloei		Nee	Nee
Biologische aantasting		Nee	Nee
Opmerkingen			
Details waarneming		Dak woonkamer kapverdieping. • Geen vochtinwerking geconstateerd, constructie en isolatie droog. Gevel badkamer 2 ^{de} verdieping. • Geen sporen van condensatie of vochtinwerking geconstateerd, droog.	Gevel keuken kapverdieping. • Geen sporen van condensatie of vochtinwerking geconstateerd, droog.

Dakpositie



Gevelpositie 1



Dakpositie: Detail



Gevelpositie 1: Detail



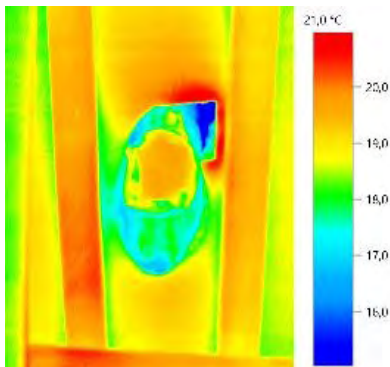
Dakpositie: Detail



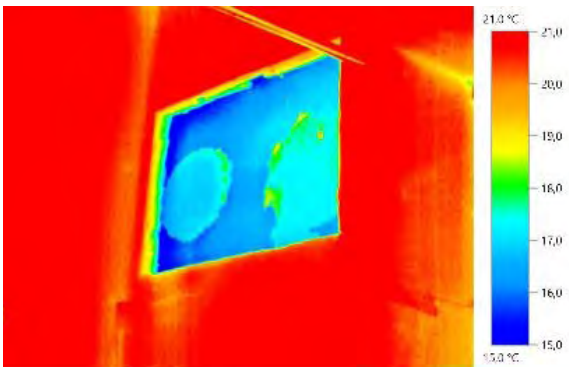
Gevelpositie 1: Detail



Dakpositie: Infraroodopname



Gevelpositie 1: Infraroodopname



Gevelpositie 2



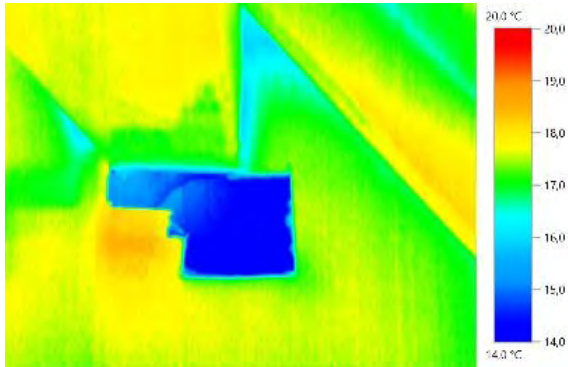
Gevelpositie 2: Detail



Gevelpositie 2: Vochtmeting



Gevelpositie 2: Infraroodopname

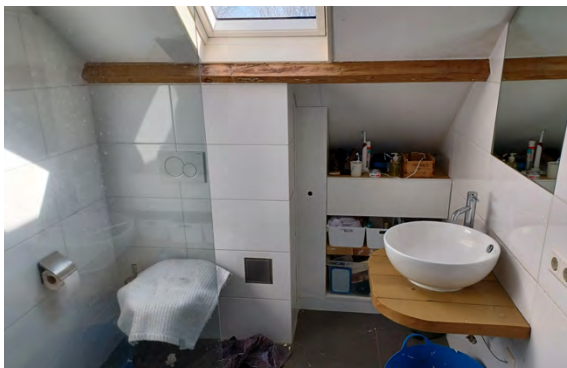


Casus 4		
Gebouwsoort		Woonhuis
Gebouwtype		Vrijstaand
Ligging		Stedelijk
Slagregenbelasting		Hoog
Bezoning		Matig tot hoog
Beschaduwing		Matig
Condities	Buitentemperatuur	10°C
	Binnentemperatuur	18,1°C - 20,3°C
	Zon	Veel
	Wind	Geen
	Regen	Geen
Dakisolatie		
Beschrijving knooppunt		Isolatieplaat tegen gording
Locatie in het gebouw		Badkamer 2 ^{de} verdieping, straatzijde (oost)
Soort gebruikruimte		Badkamer
Gebruiksfrequentie		Hoog
Verwarmd		Ja
Warmtedistributie		Radiatoren
Ventilatiewijze		Natuurlijk
Isolatieopbouw	Laag 1	Pannen (20 mm)
	Laag 2	Panlatten/tengels/luchtdlaag (20 mm)
	Laag 3	Dakbeschot (folie onb.) (20 mm)
	Laag 4	Xtratherm PIR-plaat (60 mm)
	Laag 5	Gipsplaat, gewit (12 mm)
Rc-waarde		Ca. 2,6 m ² K/W
Afwatering dak		Goed
Gebreken		
Vochtproblemen		Ja
Waarnemingen		Beperkt, lekkagesporen in badkamers, niet t.g.v. isolatie
Soort vochtprobleem		Vermoedelijk inwatering
Actief vochtprobleem		Nee
Vermoedelijke oorzaak		Inwatering door verschoven pannen of losliggend lood
Materiaalvochtmeting		13,5% (gording t.p.v. isolatie)



Gevelisolatie		Positie 1	Positie 2	Positie 3
Beschrijving knooppunt		In metselwerk opgelegde vloerbalk	Vloerbalk door isolatiemateriaal	Blokkeel/isolatie
Locatie in het gebouw		Woonkamer/keuken, begane grond, noordgevel	Slaapkamer 1 ^{ste} verd. NO-zijde	Zolder, wasruimte, westzijde
Soort gebruiksruimte		Woonkamer/keuken	Slaapkamer	Wasruimte
Gebruiksfrequentie		Hoog	Hoog	Matig (verhoogde vochtbelasting aannemelijk)
Verwarmd		Ja	Ja	Ja (indirect door opstelling cv-ketel)
Warmtedistributie		Radiatoren	Radiatoren	Afgifte door opstelling cv-ketel en leidingen
Ventilatiewijze		Natuurlijk	Natuurlijk	Natuurlijk / MV
Isolatieopbouw	Laag 1	Metselwerk steens (210 mm)	Metselwerk steens (210 mm)	Metselwerk steens (210 mm)
	Laag 2	Raaplaag (10 mm)	Raaplaag (10 mm)	Raaplaag (10 mm)
	Laag 3	Spouw (10 mm)	Spouw (10 mm)	Spouw (30 mm)
	Laag 4	Dampdoorlatende folie / minerale wol / dampdichte folie (40 mm)	Dampdoorlatende folie / minerale wol / dampdichte folie (40 mm)	Dampdoorlatende folie / minerale wol / dampdichte folie (40 mm)
	Laag 5	Gipsplaat (gewicht) (12 mm)	Gipsplaat (gewicht) (12 mm)	Gipsplaat (gewicht) (12 mm)
Rc-waarde		Ca. 1,1 m ² W/K	Ca. 1,1 m ² W/K	Ca. 1,1 m ² W/K
Thermische bruggen		Nee	Nee	Nee
Omschrijving		Niet geconstateerd (afgezien van vloerbalken)	Niet geconstateerd (afgezien van vloerbalken)	
Vochtproblemen		Nee	Nee	Nee
Waarnemingen				
Soort vochtprobleem				
Actief vochtprobleem		Nee	Nee	Nee
Vermoedelijke oorzaak				
Materiaalvochtmeting		10,5-13,3%	12,3-12,8%	12,6-15,8%
Vorstschade aanwezig		Nee	Nee	Nee
Waarnemingen				
Soort vorstschade				
Vermoedelijke oorzaak				
Gevel gehydrofobeerd		Nee	Nee	Nee
Zoutuitbloei		Nee	Nee	Nee
Biologische aantasting		Nee	Nee	Nee
Opmerkingen				
Details waarneming		Dak • Constructie droog • Geen sporen van condensatie of schimmel (afgezien van oude lekposities) • Materiaalvochtgehalte hout normaal • Onbekend of folie aanwezig is onder pannen Gevel positie 1 • Constructie droog • Geen sporen van condensatie of schimmel • Materiaalvochtgehalte hout normaal • Toepassing van houten regelwerk	Gevel positie 2 • Constructie droog • Geen sporen van condensatie of schimmel • Materiaalvochtgehalte hout normaal • Toepassing van metalstud	Gevel positie 3 • Constructie droog • Geen sporen van condensatie of schimmel • Materiaalvochtgehalte hout normaal • Toepassing van metalstud

Dakpositie



Dakpositie: Detail



Dakpositie: Vochtmeting



Gevelpositie 1



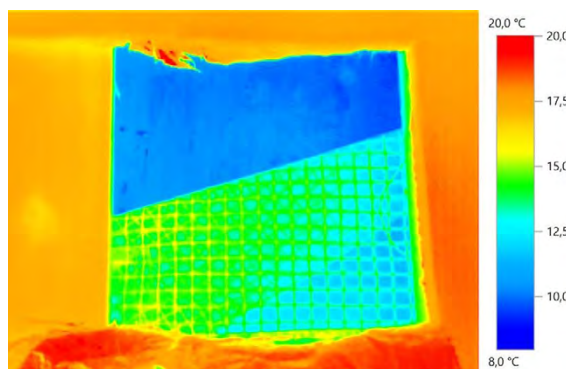
Gevelpositie 1: Detail



Gevelpositie 1: Vochtmeting



Gevelpositie 1: Infraroodopname



Gevelpositie 2



Gevelpositie 3



Gevelpositie 2: Detail



Gevelpositie 3: Detail



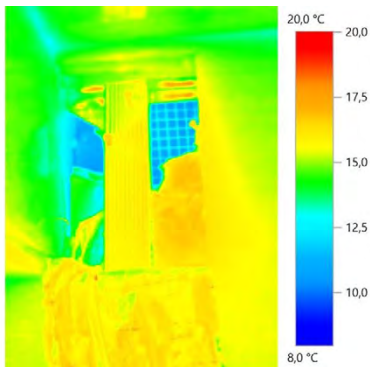
Gevelpositie 2: Vochtmeting



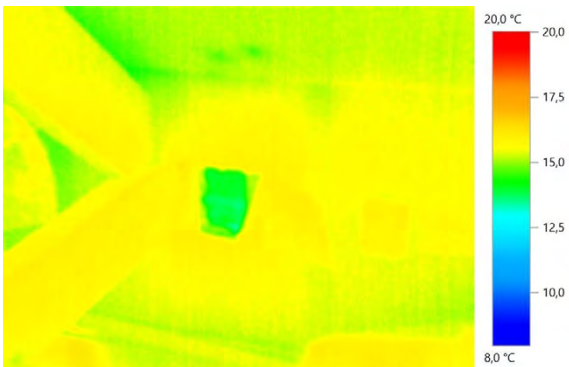
Gevelpositie 3: Vochtmeting



Gevelpositie 2: Infraroodopname



Gevelpositie 3: Infraroodopname



Casus 5				
Gebouwsort		Woonhuis		
Gebouwtype		Vrijstaand		
Ligging		Landelijk		
Slagregenbelasting		Hoog		
Bezonning		Matig		
Beschaduwing		Matig		
Conditie	Buitemtemperatuur	10°C		
	Binnentemperatuur	17°C		
	Zon	Veel		
	Wind	Weinig		
	Regen	Geen		
Gevelisolatie		Positie 1	Positie 2	Positie 3
Beschrijving knooppunt		In metselwerk opgelegde balk door isolatie	Na-geïsoleerd geveldeel, regenzijde	In gevel opgelegde balk door isolatie
Locatie in het gebouw		Kamer 1 ^{ste} verd.NO straatzijde	Kamer 1 ^{ste} verd. ZW straatzijde	Kamer 1 ^{ste} verd. NO tuinzijde
Soort gebruiksruimte		Slaapkamer	Slaapkamer	Slaapkamer
Gebruiksfrequentie		Laag (renovatie)	Laag (renovatie)	Laag (renovatie)
Verwarmd		Ja	Ja	Ja
Warmtedistributie		Luchtverwarming (tijdelijk)	Luchtverwarming (tijdelijk)	Luchtverwarming (tijdelijk)
Ventilatiewijze		Natuurlijk	Natuurlijk	Natuurlijk
Isolatieopbouw	Laag 1	Steens metselwerk + klamp (270 mm)	Steens metselwerk + klamp (270 mm)	Steens metselwerk + klamp (270 mm)
	Laag 2	Raaplaag (10 mm)	Raaplaag (10 mm)	Raaplaag (10 mm)
	Laag 3	Luchtspouw (40 mm)	Stuc laag (5 mm)	Luchtspouw (60 mm)
	Laag 4	PIR-isolatieplaat (Unilin, alu gecacheerd) (60 mm)	Luchtspouw (40 mm)	PIR-isolatieplaat (Unilin, alu gecacheerd) (60 mm)
	Laag 5	Gipsplaat (verbonden met PIR-plaat) (12 mm)	PIR-isolatieplaat (Unilin, alu gecacheerd) (60 mm)	Gipsplaat (verbonden met PIR-plaat) (12 mm)
	Laag 6		Gipsplaat (verbonden met PIR-plaat) (12 mm)	
Rc-waarde		Ca. 2,8 m ² K/W	Ca. 2,8 m ² K/W	Ca. 2,8 m ² K/W
Thermische bruggen		Nee, niet geconstateerd	Nee, niet geconstateerd	Nee, niet geconstateerd
Omschrijving				
Vochtproblemen		Nee, niet geconstateerd	Nee, niet geconstateerd	Nee, niet geconstateerd
Waarnemingen				
Soort vochtprobleem				
Actief vochtprobleem		Nee	Nee	Nee
Vermoedelijke oorzaak				
Materiaalvochtmeting		11,6 – 14,2%	1,5% (stuc laag, gips)	12,9-14,1%
Vorstschade aanwezig		Nee	Nee	Nee
Waarnemingen				
Soort vorstschade				
Vermoedelijke oorzaak				
Gevel gehydrofobeerd		Nee (NO-gevel)	Ja, vermoedelijk	Nee
Zoutuitbloei		Nee	Nee	Nee
Biologische aantasting		Nee	Nee	Nee
Opmerkingen				
Details waarneming		• Pand in renovatie. • Tijdelijk luchtheater aanwezig. • Geen sporen van vocht of condensatie geconstateerd. • Gemeten materiaalvochtgehalten tonen geen verhoogde waarden.		



Gevelpositie 1



Gevelpositie 2



Gevelpositie 1: Detail



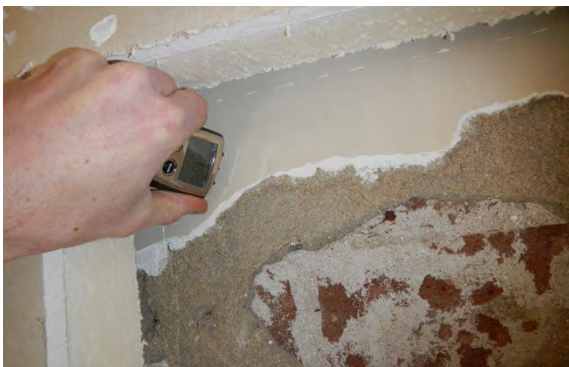
Gevelpositie 2: Detail



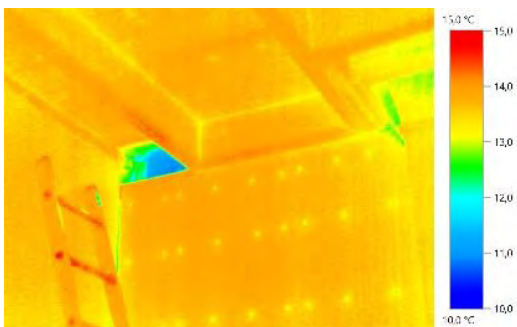
Gevelpositie 1: Vochtmeting



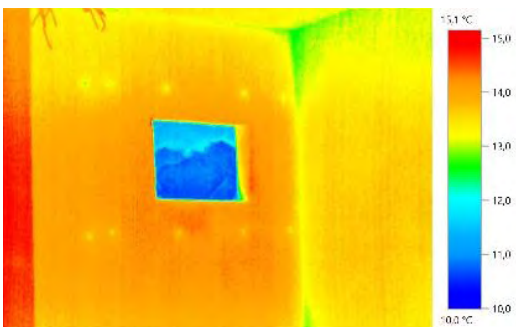
Gevelpositie 2: Vochtmeting



Gevelpositie 1: Infraroodopname



Gevelpositie 2: Infraroodopname



Gevelpositie 3



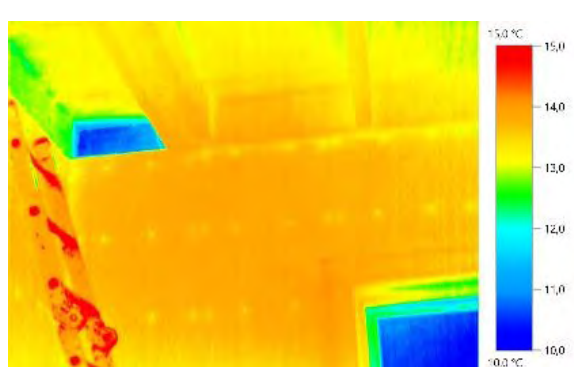
Gevelpositie 3: Detail



Gevelpositie 3: Vochtmeting



Gevelpositie 3: Infraroodopname



Casus 6		
Gebouwsoort	Woonhuis	
Gebouwtype	Vrijstaand	
Ligging	Landelijk	
Slagregenbelasting	Hoog	
Bezonning	Hoog	
Beschaduwing	Laag	
Conditie	Buitentemperatuur	10°C
	Binnentemperatuur	20,2°C
	Zon	Veel
	Wind	Weinig
	Regen	Geen
Gevelisolatie		Positie 1
Beschrijving knooppunt		Geïsoleerd geveldeel
Locatie in het gebouw		Woonkamer begane grond, westgevel
Soort gebruiksruimte		Woonkamer
Gebruiksfrequentie		Hoog
Verwarmd		Ja
Warmtedistributie		Radiatoren
Ventilatiewijze		Natuurlijk
Isolatieopbouw	Laag 1	Pleisterlaag, geschilderd (5 mm)
	Laag 2	Steens metselwerk (21 mm)
	Laag 3	Raaplaag (10 mm)
	Laag 4	Luchtspouw (40 mm)
	Laag 5	Steenwol (80 mm)
	Laag 6	Dubbel gelamineerd aluminium noppenfolie (5 mm)
	Laag 7	Gipsplaat, gewit (latex) (12 mm)
Rc-waarde		Ca. 2,6 m ² K/W
Thermische bruggen		Nee, niet geconstateerd
Omschrijving		
Vochtproblemen		Nee
Waarnemingen		
Soort vochtprobleem		
Actief vochtprobleem		Nee
Vermoedelijke oorzaak		
Materiaalvochtmeting		13,3%-14,7%
Vorstschade aanwezig		Nee
Waarnemingen		
Soort vorstschade		
Vermoedelijke oorzaak		
Gevel gehydrofobeerd		N.v.t. (gepleisterd)
Zoutuitbloei		Nee
Biologische aantasting		Nee
Opmerkingen		
Details waarneming		- Constructie droog, isolatiemateriaal droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie. - Opengemaakte positie oostgevel cv-leidingen aanwezig achter isolatiemateriaal.



Gevelpositie 1



Gevelpositie 2



Gevelpositie 1: Detail



Gevelpositie 2: Detail



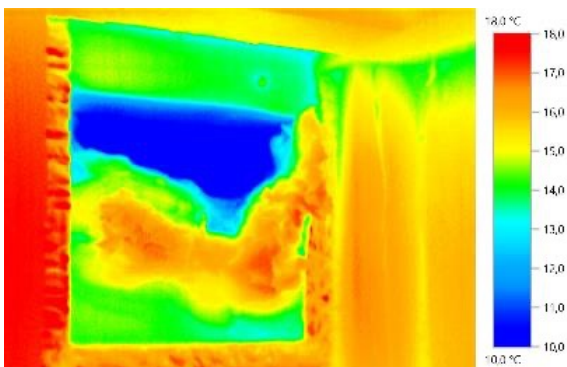
Gevelpositie 1: Vochtmeting



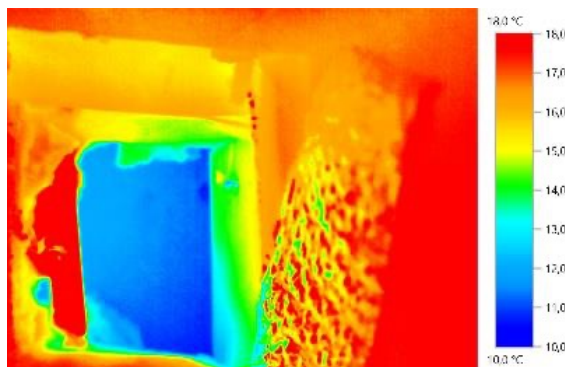
Gevelpositie 2: Vochtmeting



Gevelpositie 1: Infraroodopname



Gevelpositie 2: Infraroodopname



Casus 7				
Gebouwsoort		Woonhuis		
Gebouwtype		Geschakeld		
Ligging		Landelijk		
Slagregenbelasting		Matig		
Bezonning		Matig		
Beschaduwing		Matig		
Conditie	Buitentemperatuur	10°C		
	Binnentemperatuur	16,5°C		
	Zon	Veel		
	Wind	Weinig		
	Regen	Geen		
Gefelisolatie		Positie 1	Positie 2	Positie 3
Beschrijving knooppunt		Vloerbalk door isolatie	Vloerbalk door isolatie	Gording door isolatie
Locatie in het gebouw		Kamer NO-hoek begane grond	Keuken NW-hoek	Slaapkamer kapverdieping, noordzijde
Soort gebruiksruimte		Eetkamer	Keuken	Slaapkamer
Gebruiksfrequentie		Matig	Matig	Matig
Verwarmd		Ja	Ja	Ja
Warmteverdeling		Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren
Ventilatiewijze		Natuurlijk	Natuurlijk	Natuurlijk
Isolatieopbouw	Laag 1	Pleisterlaag, geschilderd (5 mm)	Pleisterlaag, geschilderd (5 mm)	Pleisterlaag, geschilderd (5 mm)
	Laag 2	Steens metselwerk (21 mm)	Steens metselwerk (21 mm)	Steens metselwerk (21 mm)
	Laag 3	Raaplaag (10 mm)	Raaplaag (10 mm)	Raaplaag (10 mm)
	Laag 4	Luchtsponw (25 mm)	Luchtsponw (20 mm)	Luchtsponw (20 mm)
	Laag 5	PIR-isolatieplaat (40 mm)	PIR-isolatieplaat (40 mm)	PIR-isolatieplaat (40 mm)
	Laag 6	Gipsplaat (verbonden met PIR-plaat) (12 mm)	Gipsplaat (verbonden met PIR-plaat) (12 mm)	Gipsplaat (verbonden met PIR-plaat) (12 mm)
Rc-waarde		Ca. 1,9 m ² K/W	Ca. 1,9 m ² K/W	Ca. 1,9 m ² K/W
Thermische bruggen		Nee, niet geconstateerd	Nee, niet geconstateerd	Nee, niet geconstateerd
Omschrijving				
Vochtproblemen		Nee	Nee	Nee
Waarnemingen				
Soort vochtprobleem				
Actief vochtprobleem		Nee	Nee	Nee
Vermeoedelijke oorzaak				
Materiaalvochtmeting		9,8-12,9%	Niet uitgevoerd i.v.m. bereikbaarheid	11,6-14,4% (hout), 2,8% (raaplaag)
Vorstschade aanwezig		Nee	Nee	Nee
Waarnemingen				
Soort vorstschade				
Vermeoedelijke oorzaak				
Gevel gehydrofobeerd		N.v.t. (gepleisterd)	N.v.t. (gepleisterd)	N.v.t. (gepleisterd)
Zoutuitbloei		Nee	Nee	Nee
Biologische aantasting		Nee	Nee	Nee
Opmerkingen				
Details waarneming		Constructie droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie geconstateerd.		



Gevelpositie 1



Gevelpositie 2



Gevelpositie 1: Detail



Gevelpositie 2: Detail



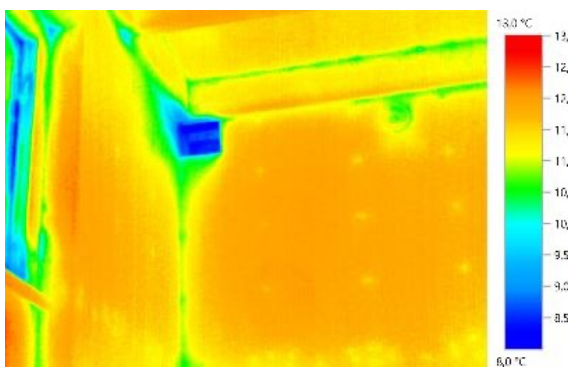
Gevelpositie 1: Vochtmeting



Gevelpositie 2: Vochtmeting



Gevelpositie 1: Infraroodopname



Gevelpositie 3



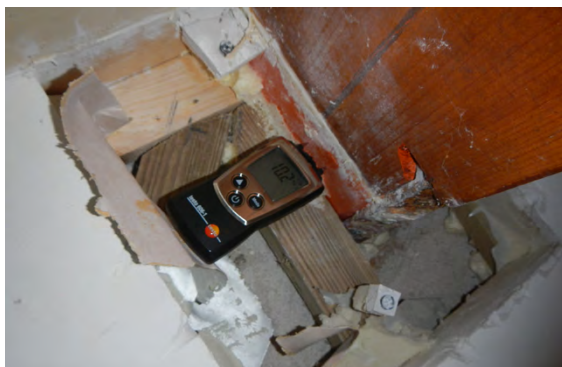
Gevelpositie 4



Gevelpositie 3: Detail



Gevelpositie 4: Detail



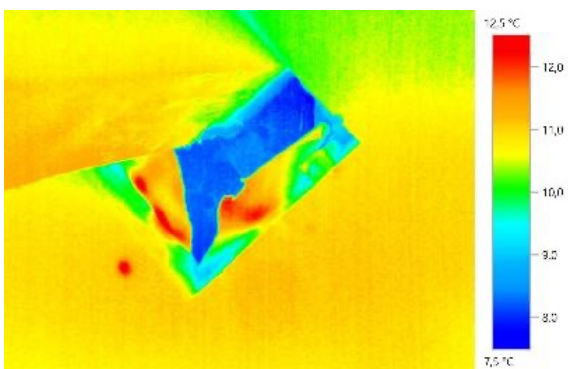
Gevelpositie 3: Vochtmeting



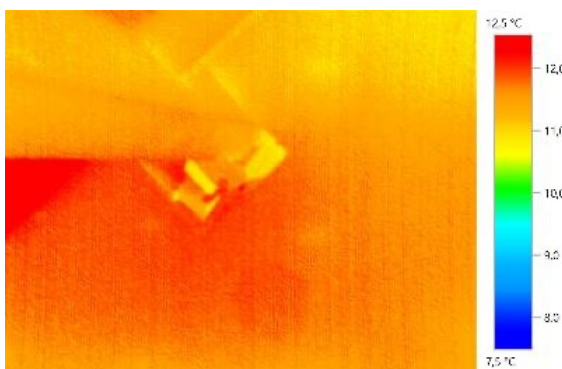
Gevelpositie 4: Vochtmeting



Gevelpositie 3: Infraroodopname



Gevelpositie 4: Infraroodopname



Casus 8		
Gebouwsoort		Kasteel/buitenplaats
Gebouwtype		Vrijstaand
Ligging		Landelijk
Slagregenbelasting		Hoog
Bezoning		Hoog
Beschaduwing		Laag
Conditie	Buitentemperatuur	8°C
	Binnentemperatuur	18,3°C
	Zon	Geen
	Wind	Geen
	Regen	Geen
Dakisolatie		
Beschrijving knooppunt		Dakisolatie aangebracht tussen sporen
Locatie in het gebouw		Kapverdieping oostzijde, t.h.v. borstwering, NO-hoek
Soort gebruikruimte		Opslag
Gebruiksfrequentie		Matig
Verwarmd		Ja (indirect door aanwezigheid cv-leidingen)
Warmtedistributie		Cv-leidingen
Ventilatiewijze		Natuurlijk
Isolatieopbouw	Laag 1	Pannen, oud-Hollands (20 mm)
	Laag 2	Luchtlaag met panlatten en tengellatten, sterk geventil. (50 mm)
	Laag 3	Pavatex-plaat (35mm)
	Laag 4	Pavatex vezeldekens (tussen sporen) (140 mm)
	Laag 5	Grenen beschoot (20 mm)
Rc-waarde		Ca. 4,7 m ² K/W
Afwatering dak		Matig
Gebreken		Inwatering zuidzijde, pannendekking matig
Vochtproblemen		Ja
Waarnemingen		Sporen van inwatering
Soort vochtprobleem		Inwatering
Actief vochtprobleem		Ja
Vermoedelijke oorzaak		Hemelwater of stuifsnieuw via pannen icm wind
Materiaalvochtmeting		Uitgevoerd, vochtpercentage constructie 11,3-21,8%
Opmerkingen		
Details waarneming		• Sporen van lekkage op constructiedelen en isolatiemateriaal. • Constructie en isolatiemateriaal zijn echter droog. • Zoldervloer t.p.v. woning geïsoleerd. Kapdeel daarboven alleen voorzien van Pavatexplaat. Aangebracht t.b.v. wind-, regen- en sneeuwdichtheid. • Dak niet t.p.v. woning geopend i.v.m. bewoning.



Dakpositie



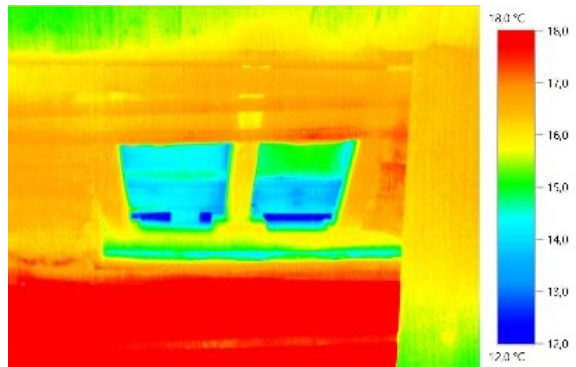
Dakpositie: Detail



Dakpositie: Vochtmeting



Dakpositie: Infraroodopname



Casus 9		
Gebouwsoort		Boerderij
Gebouwtype		Gebouwencomplex
Ligging		Landelijk
Slagregenbelasting		Hoog
Bezonning		Hoog
Beschaduwing		Laag
Conditie	Buitentemperatuur	8°C
	Binnentemperatuur	19,6°C
	Zon	Geen
	Wind	Geen
	Regen	Geen
Gevelisolatie		
Beschrijving knooppunt		Binnenisolatie tegen regenbelaste gevel
Locatie in het gebouw		Begane grond, woonkamer, gevel ZW, rechts
Soort gebruiksruimte		Woonkamer
Gebruiksfrequentie		Hoog
Verwarmd		Ja
Warmtedistributie		Radiatoren
Ventilatiewijze		Natuurlijk
Isolatieopbouw	Laag 1	Metselwerk (210 mm)
	Laag 2	Raap- + stuc laag (kalk of gips) (15 mm)
	Laag 3	Glaswol (60 mm)
	Laag 4	Luchtpouw (Ca. 10-20 mm)
	Laag 5	Gipsplaat (12 mm)
	Laag 6	Spaanplaat (20 mm)
	Laag 7	Gipsplaat, gewit (12 mm)
Rc-waarde		Ca. 2 m²K/W
Thermische bruggen		Nee
Omschrijving		Niet geconstateerd.
Vochtproblemen		Ja
Waarnemingen		Isolatiemateriaal en stuc vochtig, schimmels
Soort vochtprobleem		Verhoogde vochtigheid
Actief vochtprobleem		Ja
Vermoedelijke oorzaak		Vermoedelijk slagregen i.c.m. condensatie
Materiaalvochtmeting		Stuc laag binnenzijde ca, 11%, houten regels ca. 20%, spaanplaat binnenzijde ca. 11%
Vorstschade aanwezig		Mogelijk
Waarnemingen		Zeer beperkte schades aan klinkers, kan ook door mechanische inwerking komen
Soort vorstschade		
Vermoedelijke oorzaak		
Gevel gehydrofobeerd		Nee (getest, sterk absorberend)
Zoutuitbloei		Nee
Biologische aantasting		Nee
Opmerkingen		
Details waarneming		• Gevel buitenzijde oogt droog. • Isolatiemateriaal klam en zwarte vlekken (ws. schimmel) en binnenzijde gevel (stuklaag) vochtig. • Gipsplaat isolatiezijde lichte en roze schimmelvlekken, spaanplaatzijde zwarte schimmelvlekken. • Binnenzijde vertoont vanuit de woonkamer gezien geen sporen van bouwfysische problemen. • Monumentenglas.



Gevelpositie



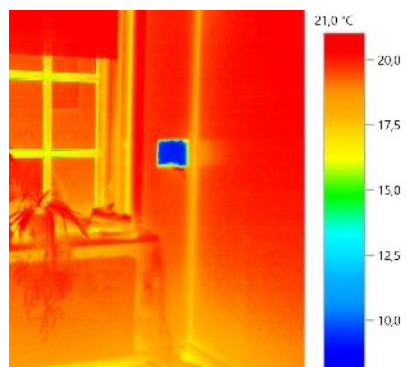
Gevelpositie: Detail



Gevelpositie: Vochtmeting



Gevelpositie: Infraroodopname



Casus 10			
Gebouwsoort		Boerderij, woonhuis	
Gebouwtype		Geschakeld	
Ligging		Landelijk	
Slagregenbelasting		Hoog	
Bezinning		Matig	
Beschaduwing		Hoog (gevel, leilindes)	
Conditie	Buitentemperatuur	16°C	
	Binnentemperatuur	20,3°C	
	Zon	Geen	
	Wind	Weinig	
	Regen	Geen	
Dakisolatie			
Beschrijving knooppunt		Aansluiting borstwering en dak, na-geïsoleerd	
Locatie in het gebouw		Eerste verdieping (kapverdieping) slaapkamer zuidzijde (bij trap rechtdoor)	
Soort gebruikruimte		Slaapkamer	
Gebruiksfrequentie		Hoog	
Verwarmd		Ja	
Warmtedistributie		Radiatoren	
Ventilatiewijze		Natuurlijk	
Isolatieopbouw	Laag 1	Dakpannen (20 mm)	
	Laag 2	Luchtlag met panlatten en tengellatten, sterk geventil. (50 mm)	
	Laag 3	Dakbeschot (grenen) (20 mm)	
	Laag 4	Luchtsponw, geventileerd via kieren (tocht voelbaar) (60 mm)	
	Laag 5	Glaswoldeken, alu-gecacheerd (80 mm)	
	Laag 6	Gipsplaat, gewit (latex) (12 mm)	
Rc-waarde		Ca. 2,46 m ² K/W	
Afwatering dak		Goed	
Gebreken			
Vochtproblemen		Nee	
Waarnemingen			
Soort vochtprobleem			
Actief vochtprobleem		Nee	
Vermoedelijke oorzaak			
Materiaalvochtmeting		12,8-15,8% (houten delen, droog)	

Gevelisolatie		
Beschrijving knooppunt		Na-geïsoleerde gevel
Locatie in het gebouw		Woonkamer oostgevel, ZO-hoek
Soort gebruiksruimte		Woonkamer met open keuken
Gebruiksfrequentie		Hoog
Verwarmd		Ja
Warmte distributie		Radiatoren
Ventilatie wijze		Natuurlijk
Isolatieopbouw	Laag 1	Steens metselwerk (225 mm)
	Laag 2	Raaplaag (cementmortel) (10 mm)
	Laag 3	Luchtsponw (ongeventileerd) met regelwerk (30 mm)
	Laag 4	PE-folie (1 mm)
	Laag 5	PUR-isolatieplaat (60 mm)
	Laag 6	Fermacellplaat (10 mm)
	Laag 7	Gipsstuc (2 mm)
Rc-waarde		Ca. 2,62 m ² K/W
Thermische bruggen		Ja
Omschrijving		T.p.v. muurankers
Vochtproblemen		Nee
Waarnemingen		
Soort vochtprobleem		
Actief vochtprobleem		Nee
Vermoedelijke oorzaak		
Materiaalvochtmeting		13-14% t.p.v. houten regel in spouw
Vorstschade aanwezig		Nee
Waarnemingen		
Soort vorstschade		
Vermoedelijke oorzaak		
Gevel gehydrofobeerd		Zuid- en oostzijde niet, noordzijde mogelijk
Zoutuitbloei		Nee
Biologische aantasting		Nee
Opmerkingen		
Details waarneming		T.p.v. gevel: • Constructie droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie. • Voegwerk plaatselijk in matige staat (kalkmortel). T.p.v. dak: • Constructie droog, geen sporen van vochtinwerking of condensatie. • Luchtsponw vervuild, o.a. door knaagdier- of vogeluitwerpselen.

Dakpositie



Gevelpositie



Dakpositie: Detail



Gevelpositie: Detail



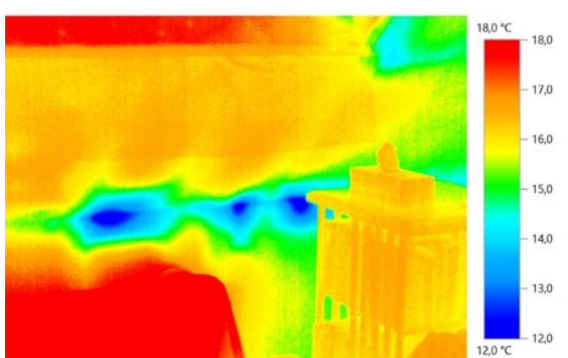
Dakpositie: Vochtmeting



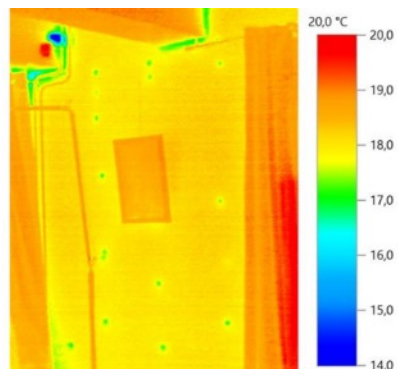
Gevelpositie: Vochtmeting



Dakpositie: Infraroodopname



Gevelpositie: Infraroodopname



Casus 11		
Gebouwsoort	Woonhuis	
Gebouwtype	Vrijstaand	
Ligging	Stedelijk	
Slagregenbelasting	Matig	
Bezinning	Matig	
Beschaduwing	Hoog (behalve in winter, beschaduwing door bomen)	
Conditie	Buitemtemperatuur	Ca. 18,5°C
	Binnentemperatuur	20,3°C
	Zon	Veel
	Wind	Weinig
	Regen	Geen
Gevelisolatie		
Beschrijving knooppunt		
Locatie in het gebouw		
Soort gebruikruimte		
Gebruiksfrequentie		
Verwamd		
Warmtedistributie		
Ventilatiewijze		
Isolatieopbouw	Laag 1	
	Laag 2	
	Laag 3	
	Laag 4	
	Laag 5	
	Laag 6	
Rc-waarde		
Thermische bruggen		
Omschrijving		
Vochtproblemen		
Waarnemingen		
Soort vochtprobleem		
Actief vochtprobleem		
Vermoedelijke oorzaak		
Materiaalvochtmeting		
Vorstschade aanwezig		
Waarnemingen		
Soort vorstschade		
Vermoedelijke oorzaak		
Gevel gehydrofobeerd		
Zoutuitbloei		
Biologische aantasting		
Opmerkingen		
Details waarneming		• Uitgenomen Pavadentroplaat lijkt nat te zijn geweest aan metselwerkzijde (donkere verkleuring). Is vermoedelijk het gevolg van het monteren in de nog vochtige raaplaag, conform montagevoorschrift. • Meerdere balkkoppen zijn tijdens restauratie hersteld middels epoxy. Vóór aanbrengen isolatiemateriaal. Westzijde. Vermoedelijk gevolg van hemelwater.



Gevelpositie 1



Gevelpositie 2



Gevelpositie 1: Detail



Gevelpositie 2: Detail



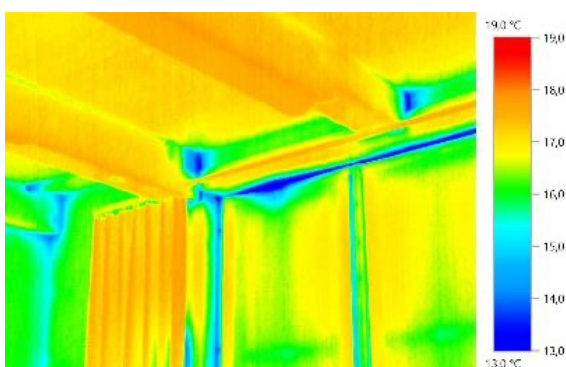
Gevelpositie 1: Vochtmeting



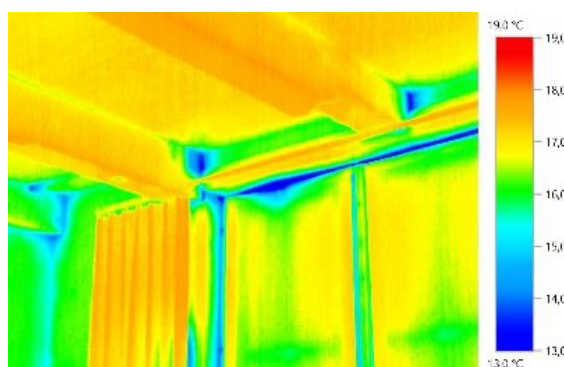
Gevelpositie 2: Vochtmeting



Gevelpositie 1: Infraroodopname



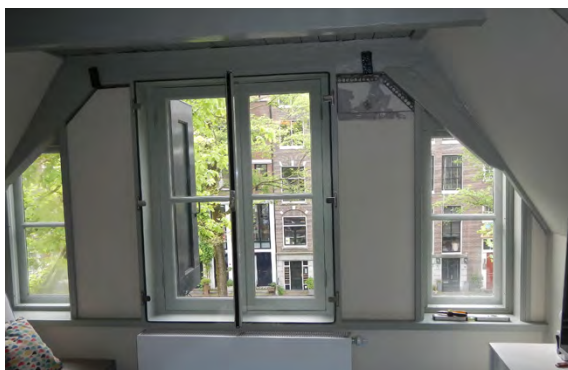
Gevelpositie 2: Infraroodopname



Casus 12		
Gebouwsoort		Woonhuis
Gebouwtype		Geschakeld
Ligging		Stedelijk
Slagregenbelasting		Hoog (voorgevel)
Bezonning		Hoog (voorgevel en dak zw)
Beschaduwing		Matig (bomen grachtenzijde)
Conditie	Buitentemperatuur	Ca. 17°C
	Binnentemperatuur	20,6°C
	Zon	Veel
	Wind	Weinig
	Regen	Geen
Gevelisolatie		
Beschrijving knooppunt		Na-geïsoleerde gevel t.p.v. dwarsbalk en anker
Locatie in het gebouw		Kamer 3 ^{de} verdieping zuidzuidoostgevel
Soort gebruikruimte		Woonkamer, tv-kamer
Gebruiksfrequentie		Hoog
Verwarmd		Ja
Warmtedistributie		Radiatoren
Ventilatiewijze		Natuurlijk en mechanisch
Isolatieopbouw	Laag 1	1,5 steens metselwerk (300 mm)
	Laag 2	Luchtlaag, onevenredig in dikte (ca. 10 mm)
	Laag 3	XPS isolatie met glasvlies gewapende mortellaag (40 mm)
	Laag 4	Gipsstuc, gewit (verm. latex) (15 mm)
Rc-waarde		Ca. 1,68 m ² K/W
Thermische bruggen		Ja
Omschrijving		T.p.v. muurankers
Vochtproblemen		Nee, niet t.p.v. na-geïsoleerde geveldelen
Waarnemingen		
Soort vochtprobleem		
Actief vochtprobleem		Nee
Vermoedelijke oorzaak		
Materiaalvochtmeting		9,5-13,5% t.p.v. balk
Vorstschade aanwezig		Nee, niet geconstateerd
Waarnemingen		
Soort vorstschade		
Vermoedelijke oorzaak		
Gevel gehydrofoobeerd		Nee, gevelklinkers sterk zuigend (getest)
Zoutuitbloei		Nee
Biologische aantasting		Nee
Opmerkingen		
Details waarneming		• Strook vrijgehouden rondom isolatieplaat (ca. 15 mm), zijstroken opgevuld met compriband, bovenzijde (tussen isolatieplaat en balk) niet. • Condensatie t.p.v. beglazing. • Bewoners wonen er sinds ca. een jaar, gezin met 3 kinderen en twee ouders.



Gevelpositie



Gevelpositie: Detail



Gevelpositie: Vochtmeting



Casus 13			
Gebouwsoort		Woonhuis	
Gebouwtype		Geschakeld	
Ligging		Stedelijk	
Slagregenbelasting		Hoog (voorgevel west)	
Bezonnig		Matig (behalve dakvlak op zuiden)	
Beschaduwing		Hoog (geschakelde woning, behalve dakvlakken en voorgevel)	
Conditie	Buitentemperatuur	Ca. 15,5°C	
	Binnentemperatuur	19,1°C	
	Zon	Veel	
	Wind	Weinig	
	Regen	Geen	
Dakisolatie			
Beschrijving knooppunt		Dak, achter borstwering, t.p.v. blokkeel	
Locatie in het gebouw		2 ^{de} verdieping noordzijde	
Soort gebruikruimte		Overloop	
Gebruiksfrequentie		Hoog	
Verwarmd		Ja	
Warmte distributie		Radiatoren	
Ventilatie wijze		Natuurlijk	
Isolatieopbouw	Laag 1	Pannen (20 mm)	
	Laag 2	Panlatten en tengels en luchtlaag (geventileerd) (40 mm)	
	Laag 3	Dampopen dakfolie (spinvlies?) (0,5 mm)	
	Laag 4	Dakbeschot (20 mm)	
	Laag 5	Spouw gevuld met cellulose-isolatie (100 mm)	
	Laag 6	Multiplex (20 mm)	
	Laag 7	Gipsplaat (gewit) (12 mm)	
Rc-waarde		Ca. 2,45 m ² K/W	
Afwatering dak		Goed (voor zover waarneembaar)	
Gebreken			
Vochtproblemen		Nee	
Waarnemingen			
Soort vochtprobleem			
Actief vochtprobleem		Nee	
Vermeoedelijke oorzaak			
Materiaalvochtmeting		10,0% - 14,4% (blokkeel, spantbeen)	
Opmerkingen			
Details waarneming		Constructie droog, geen sporen van condensatie of vochtproblemen waarneembaar.	

Dakpositie



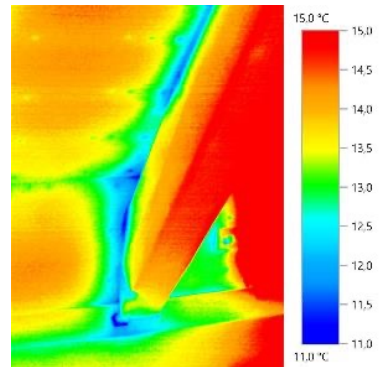
Dakpositie: Detail



Dakpositie: Vochtmeting



Dakpositie: Infraroodopname



Casus 14			
Gebouwsoort		Boerderij, woonhuis	
Gebouwtype		Vrijstaand	
Ligging		Stedelijk	
Slagregenbelasting		Laag (gevel oostnoordoost)	
Bezonning		Matig (behalve dakvlak op zuiden)	
Beschaduwing		Matig	
Conditie	Buitentemperatuur	21,5°C	
	Binnentemperatuur	20,6°C	
	Zon	Veel	
	Wind	Weinig	
	Regen	Geen	
Dakisolatie			
Beschrijving knooppunt		Dak, t.p.v. kil	
Locatie in het gebouw		1 ^{ste} verdieping, daken op ZZO en ONO	
Soort gebruikruimte		Bergruimte/spouw achter borstwering	
Gebruiksfrequentie		Laag	
Verwarmd		Nee	
Warmtedistributie		-	
Ventilatiewijze		Natuurlijk	
Isolatieopbouw	Laag 1	Riet (150 mm)	
	Laag 2	Luchtsponw met sporen en rietlatten (120 mm)	
	Laag 3	Klimaatfolie Isover Vario KM Duplex (0,002 mm)	
	Laag 4	CLS-hout waartussen isolatie, 4x5cm glaswol (200 mm)	
	Laag 5	Klimaatfolie Isover Vario KM Duplex (0,002 mm)	
	Laag 6	Gipsplaat, gesausd (12 mm)	
Rc-waarde		Ca. 6,74 m ² K/W	
Afwatering dak		Goed (voor zover waarneembaar)	
Gebreken			
Vochtproblemen		Nee	
Waarnemingen		Mosgroei op buitenzijde rieten kap	
Soort vochtprobleem			
Actief vochtprobleem		Nee	
Vermoedelijke oorzaak			
Materiaalvochtmeting		Op div. posities in houten constructie: 9,0%-19,9%	

Gevelisolatie		
Beschrijving knooppunt		Na-geïsoleerde gevel
Locatie in het gebouw		Woonkamer, begane grond, oostnoordoostgevel
Soort gebruiksruimte		Woonkamer met open keuken
Gebruiksfrequentie		Hoog
Verwarmd		Ja
Warmtedistributie		Vloerverwarming
Ventilatiewijze		Natuurlijk (mv uitgeschakeld)
Isolatieopbouw	Laag 1	Halfsteens metselwerk (110 mm)
	Laag 2	Stuc laag verm. kalk (5 mm)
	Laag 3	Luchtlag, onevenredig in dikte (ca. 10 mm)
	Laag 4	Dubbele dubbelgelamineerde aluminium noppenfolie (10 mm)
	Laag 5	Steenwol (70 mm)
	Laag 6	Gasbetonblok Ytong (150 mm)
	Laag 7	Gipsstuc met sauswerk (5 mm)
Rc-waarde		Ca. 4,18 m ² K/W
Thermische bruggen		Niet geconstateerd, maar naar verluidt betonrand in gevel op vloerniveau aanwezig
Omschrijving		
Vochtproblemen		Nee, niet t.p.v. na-geïsoleerde geveldelen
Waarnemingen		
Soort vochtprobleem		
Actief vochtprobleem		Nee
Vermoedelijke oorzaak		
Materiaalvochtmeting		Ca. 3,2% t.p.v. stuc laag metselwerk
Vorstschade aanwezig		Nee, niet geconstateerd
Waarnemingen		
Soort vorstschade		
Vermoedelijke oorzaak		
Gevel gehydrofobeerd		Nee, gevelklinkers sterk zuigend (getest)
Zoutuitbloei		T.p.v. onderste rand boven de vloer binnenzijde gevel
Biologische aantasting		Nee
Opmerkingen		
Details waarneming		Gevel • Constructie droog, geen sporen van condensatie of vochtproblemen waarneembaar. • Materiaalvochtgehalte stuc laag tegen buitenblad licht verhoogd (ca. 3,2%). • Zoutuitbloei en vochtinwerking zichtbaar t.p.v. onderste rand boven de vloer, binnenzijde gevel, begane grond, naar verluidt ca. 15 jaar geleden overstroming geweest. Dak • Sporen en houten balken droog, isolatiemateriaal schoon en droog, geen sporen van vochtinwerking zichtbaar. • Aantasting van houtworm zichtbaar in sporen. Naar verluidt behandeld. • Mosgroei op buitenzijde rieten kap, ca. 30 jaar oud. • Pand in 1992 gerenoveerd, toen is isolatie aangebracht. • Gevel niet gehydrofobeerd, ooit gereinigd met waterstoffluoride (ca. 30 jaar geleden). • Schimmelgroei op binnenwand slaapkamer aanwezig t.p.v. onderrand vloerniveau, begane grond, hier is een betonnen opstand gestort (waterkering) die als koudebrug fungeert. • Bij wind veel tocht via kap, duidelijk merkbaar in de binnentemperatuur en hoe hard de cv-ketel moet werken in de winter.

Dakpositie



Gevelpositie



Dakpositie: Detail



Gevelpositie: Detail



Dakpositie: Vochtmeting



Gevelpositie: Vochtmeting



Begrippenlijst

Onderstaande begrippenlijst geeft een definitie van de in deze rapportage gebruikte terminologie, in de context van het onderzoek.

Biologische aantasting	Biologische aantasting is de onomkeerbare aantasting van materialen ten gevolge van organismen. Dit leidt in het algemeen tot verkorting van de levensduur van materialen. De aantastingsmechanismen van bouwmaterialen door organismen kan zowel direct als indirect zijn. Directe aantasting ontstaat puur door het aanwezig zijn of groeien van de organismen op of in het materiaal. Van indirecte aantasting is sprake als afbraak van het materiaal bewerkstelligd wordt door biologische uit- en afscheidingsproducten.
Capillair	Een buisje met een kleine diameter. Capillairen zijn in staat om vocht tegen de zwaartekracht in op te zuigen, als gevolg van de aantrekkingskracht tussen de moleculen in de wand van het capillair en de vloeistofmoleculen. Daarnaast spelen krachten aan het contactoppervlak met de lucht een rol.
Dampdiffusieweerstandsgetal	Een getal (symbool: μ , eenheid: -) dat de verhouding weergeeft van de dampweerstand van dat materiaal ten opzichte van de dampweerstand van een laag lucht van dezelfde dikte.
Dampdruk	Ook wel dampspanning genoemd (symbool: p , eenheid: Pa), is dat deel van de luchtdruk die veroorzaakt wordt door de waterdamp in de lucht.
Hydrofoberen	Hydrofoberen is het waterafstotend maken van muren, wanden en gevels. Deze vorm van impregneren wordt ingezet om vochtindringing tegen te gaan, vorstschade te voorkomen of om de groei van alg en schimmel af te remmen.
Koudebrug	Dit betreft constructie-elementen die een verhoogde warmtedoorgang kennen, als gevolg van een betere warmtegeleidbaarheid. In feite is thermische brug een betere benaming. Koudebruggen leiden in de winter tot lagere oppervlaktetemperaturen aan de binnenzijde, waardoor soms condensatie of schimmelgroei op kan treden.
Koudestraling	Een term die gebruikt wordt als men een onaangename koude ervaart nabij een koud oppervlak, zoals een groot venster met enkele glas. Warmte-transport vindt plaats door geleiding, convectie en straling. Een object met een hogere temperatuur verliest warmte middels stralingsoverdracht aan een object met een lagere temperatuur. Koudestraling is in feite een incorrecte benaming, omdat het warmtetransport in realiteit in de andere richting verloopt, van warm naar koud.
Koudeval	Als lucht afkoelt neemt de dichtheid, het soortelijk gewicht, toe. Als ruimtelucht bijvoorbeeld afkoelt aan een koud oppervlak, zoals een ruit met enkele glas in de winter, dan ontstaat voor die ruit aan neergaande luchtstroming in de ruimte, zg. koudeval. Deze luchtstroming kan als onaangename tocht ervaren worden.
Leefvocht	Waterdamp die in een woning vrijkomt als gevolg van uitademing door personen, koken, wassen, natreinigen, douchen, huisdieren etc.
LTV	Laagtemperatuurverwarming. De warmteafgifte op vertrekkniveau geschiedt hierbij door een verwarmingslichaam (bijv. radiator, convector, vloerverwarming, wandverwarming) dat gevoed wordt door warm water met een relatief lage temperatuur ($<50^{\circ}\text{C}$).
μ_d	Relatieve dampdiffusieweerstand (symbool: S_d , eenheid: m), wordt bepaald door het dampdiffusieweerstandsgetal te vermenigvuldigen met de laagdikte van dat materiaal. Deze waarde geeft aan met hoeveel meter lucht de dampdiffusieweerstand overeenkomt.

Na-isolatie	Het thermisch opwaarderen van de gebouwschil van een pand, door toevoeging van isolatiemateriaal.
Rc	Warmteweerstand van de constructie (En: Resistance Construcion, symbool: Rc, eenheid $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$). Met de Rc-waarde wordt de isolatiewaarde van constructies aangeduid. Hoe hoger het getal, hoe beter de isolatie.
Stralingsasymmetrie	Als het warmteverlies van een persoon middels straling aan een zijde van het lichaam groter is dan aan de andere zijde. Dit wordt als discomfort ervaren.
Trias Energetica	Strategie voor energiezuinig bouwen, bestaande uit: Stap 1. Beperk de energievraag, Stap 2. Gebruik energie uit hernieuwbare (duurzame) bronnen, Stap 3. Gebruik eindige (fossiele) energiebronnen efficiënt.
Warmtegeleidingscoëfficiënt	Ook wel lambda-waarde (symbool: λ , eenheid: $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) genoemd, drukt uit hoeveel energie door een vlak van 1 m^2 stroomt bij een dikte van 1 m, per graad Kelvin of Celsius temperatuurverschil tussen beide zijden van het vlak.
Warmtepomp	Een apparaat dat in staat is om warmte te verplaatsen van een lage naar een hoge temperatuur. Een voorbeeld van een warmtepomp is een koelkast of een airco.
Waterabsorptiecoëfficiënt	De waterabsorptiecoëfficiënt (symbool: A, eenheid: $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$) geeft een maat voor de waterabsorberende capaciteit van het materiaal
Zoutuitbloei	Zoutuitbloei is het fenomeen waarbij in water opgeloste zouten getransporteerd worden door het metselwerk als gevolg van capillaire zuigkracht. Het transport treedt op richting het oppervlak waar het water verdampt. Zouten blijven daar achter en kristalliseren en zijn aan het oppervlak zichtbaar als zoutuitbloei. De zouten kunnen ook in of onder het pleisterwerk kristalliseren, waardoor de pleisterlaag wordt afgedrukt. In dat geval is geen zoutuitbloei aan het oppervlak zichtbaar. De meest voorkomende zouten zijn natrium-, magnesium- en calciumsulfaat.

