



Gemeente Breda

Bijlage 30 bij besluit
2017-2805-V1

V&V

KASTEEL van BREDA
Advies m.b.t. de renovatie
van de 1^{ste} en 2^{de} verdieping

ir. E. Neuhaus
dr.ir. H.L. Schellen

Datum : 5 november 2013
Rapportnummer : 10016934-E
Aantal pagina's : 48
Aantal bijlagen : 6
Opdrachtgever : Ministerie van Defensie
Dienst Vastgoed
Postbus 412
5000 AK TILBURG

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING.....	6
1.1 PROBLEEMSTELLING.....	6
1.2 DOELSTELLING ONDERZOEK	6
1.3 PROJECTAANPAK	6
2 GLOBALE ANALYSE VAN BOUWFYSISCHE ASPECTEN.....	7
2.1 ORIËNTATIE EN GEOMETRIE	7
2.2 WANDEN.....	8
2.3 VLOEREN EN PLAFONDS	8
2.4 BEGLAZING	9
2.5 DAK.....	9
2.6 GEBRUIK VAN HET KASTEEL.....	9
3 KLIMAATTECHNISCHE INVENTARISATIE	10
3.1 VERWARMINGSLICHAMEN.....	10
3.2 WARMTEOPWEKKING	10
3.3 REGELING VAN DE VERWARMINGSINSTALLATIES.....	10
3.4 NATUURLIJKE VENTILATIE	11
3.5 MECHANISCHE AFZUIGING	11
3.6 ENERGIEGEBRUIK	11
4 ANALYSE VAN MEETDATA	12
4.1 DOEL VAN DE METINGEN.....	12
4.2 MEETMETHODE	12
4.2.1 Toegepaste apparatuur.....	12
4.2.2 Meetperiode en meetposities.....	12
4.3 ANALYSE MEETDATA	13
4.3.1 Temperatuur en RV	13
4.3.2 Luchtkwaliteit.....	14
4.4 INFRAROODANALYSE GEBOUWSCHIL.....	14
5 SIMULATIESTUDIE.....	15
5.1 INTRODUCTIE WARMTE- EN VOCHTSIMULATIE	15
5.1.1 HAMBASE-Simulink.....	15
5.1.2 WUFI.....	15
5.2 DOELEN EN METHODES VAN DE SIMULATIESTUDIE	15
5.2.1 HAMBASE-Simulink.....	15
5.2.2 WUFI.....	16
5.3 RESULTATEN HAMBASE-SIMULINK	17
5.3.1 Basismodel HAMBASE-Simulink	17
5.3.2 Resultaten variantenstudie: analyse energiegebruik en warmteontwikkeling zomer	17
5.3.3 Resultaten variantenstudie: risico vorstschade gevel	18
5.4 RESULTATEN WUFI	19
5.4.1 Watergehalte in de gevel	19
5.4.2 Vorstrisico.....	19
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	21

6.1	ALGEMEEN.....	21
6.2	BEVINDINGEN KLIMAATMETINGEN	21
6.3	BEVINDINGEN SIMULATIESTUDIE.....	21
6.4	PRAKTISCHE AANBEVELINGEN	22
REFERENTIES		24
BIJLAGE 1 BOUWKUNDIGE PLATTEGRONDEN.....		25
BIJLAGE 2 SPECIFICATIES VAN DE SENSOREN.....		28
BIJLAGE 3 INFRAROODOPNAMEN		29
BIJLAGE 4 INVOER HAMBASE BASISMODEL.....		43
BIJLAGE 5 OPBOUW HAMBASE-SIMULINKMODEL.....		45
BIJLAGE 6 SIMULATIERESULTATEN		46
	BASISMODEL: VERIFICATIE ZONE 1	46
	BASISMODEL: VERIFICATIE ZONE 2	47
	VARIANTEN 1 T/M 4 ZUIDGEVEL.....	48
	VARIANTEN 1 T/M 4 NOORDGEVEL	48

Samenvatting

Het Kasteel van Breda zal in 2014 bouwkundig en installatietechnisch grotendeels gerenoveerd worden. In opdracht van het Ministerie van Defensie is door de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) onderzoek verricht naar de effecten van diverse bouwkundige aanpassingen. Tijdens het onderzoek zijn onder andere binnenklimaatmetingen uitgevoerd, is gebruik gemaakt van infraroodthermografie en is een studie uitgevoerd met behulp van computersimulatiemodellen.

Door de gebouwschil thermisch op te waarderen, is een forse energiebesparing te verwachten. Met simulatiemodellen is onderzocht wat naast de energetische effecten de bouwfysische effecten hiervan zijn. Hieruit blijkt dat bepaalde isolatiemaatregelen bouwfysische risico's kunnen introduceren, die nadelig zijn voor het behoud van de monumentale constructie. Tevens is aangetoond dat bepaalde isolatiemaatregelen nadelig kunnen zijn voor het thermisch comfort.

Op basis van de constatering van het uitgevoerde onderzoek, zijn diverse aanbevelingen gedaan om het kasteel op een verantwoorde wijze energetisch op te waarderen. Het betreft hier aanbevelingen van zowel bouwkundige als van installatietechnische aard.

1 Inleiding

Het Ministerie van Defensie is voornemens om het rijksmonumentale Kasteel van Breda in 2014 deels te renoveren. Het kasteel bestaat uit 5 bouwlagen en huisvest sinds 1826 de Koninklijke Militaire Academie. Het doel van de aanstaande renovatie kan in grote lijnen omschreven worden als het verbeteren van de brandveiligheid en het verhogen van de energie-efficiëntie en het thermisch comfort ter plaatse van de eerste en tweede verdieping. Hierbij zal in grote mate rekening gehouden worden met de monumentale structuur van het kasteel. Door het Ministerie van Defensie is aan de (TU/e) gevraagd onderzoek uit te voeren en te adviseren over diverse bouwfysische en klimaattechnische zaken.

1.1 Probleemstelling

Om te vermijden dat de renovatiemaatregelen op termijn tot schade aan de monumentale structuur leiden, dient een gedegen vooronderzoek uitgevoerd te worden. Bij schade valt bijvoorbeeld te denken aan onjuiste isolatiemaatregelen, waardoor na verloop van tijd houten balken aangetast zouden kunnen worden door houtrot.

1.2 Doelstelling onderzoek

Aan de TU/e is gevraagd actief mee te denken hoe de restauratie op een verantwoorde wijze doorgevoerd kan worden, zodat geen nieuwe bouwfysische risico's geïntroduceerd worden die op termijn het behoud van het monumentale gebouw in gevaar kunnen brengen. Het betreft hier advies met betrekking tot:

- het verbeteren van de energie-efficiëntie van het kasteel door bouwkundige aanpassingen;
- het verbeteren van de energie-efficiëntie van het klimaatsysteem;
- het verbeteren van het thermisch comfort voor gebruikers van het gebouw.

1.3 Projectaanpak

De werkzaamheden hebben hoofdzakelijk betrekking op de eerste en tweede verdieping van het gebouw. De kelderverdieping, begane grond en zolderverdieping vallen buiten de kern van het onderzoek. De zolder is thans in gebruik als technische ruimte en zal naar verluidt als technische ruimte blijven fungeren.

De door de TU/e verrichte werkzaamheden zijn als volgt samen te vatten:

Deel 1: vooronderzoek

- Het uitvoeren van een globale bouwkundige en klimaattechnische inventarisatie om de bestaande situatie in kaart te brengen. Deze gegevens zijn verzameld om tot een juist advies te kunnen komen en om met voldoende nauwkeurigheid simulatiemodellen op te kunnen stellen.
- Het uitvoeren van metingen naar temperatuur en relatieve luchtvochtigheid, op 5 representatieve posities in het gebouw. De verkregen data bieden inzicht in het huidige binnenklimaat en zijn verzameld om simulatiemodellen mee te kalibreren. Om de huidige ventilatie-efficiëntie in kaart te brengen, is in 2 gebruiksruimten van het gebouw de CO₂-concentratie gemeten gedurende ca. 2 maanden.
- Om meer inzicht in de bouwfysische eigenschappen van de gebouwschil te krijgen, is een infraroodanalyse uitgevoerd. Hierbij is gedurende een koude dag, waarop het temperatuurverschil tussen binnen en buiten minimaal 15°C bedroeg, de gebouwschil bestudeerd met een thermische camera.
- De verkregen data en bevindingen zijn geanalyseerd en de constatering is beschreven in deze rapportage.

Deel 2: planbeoordeling en simulatiestudie

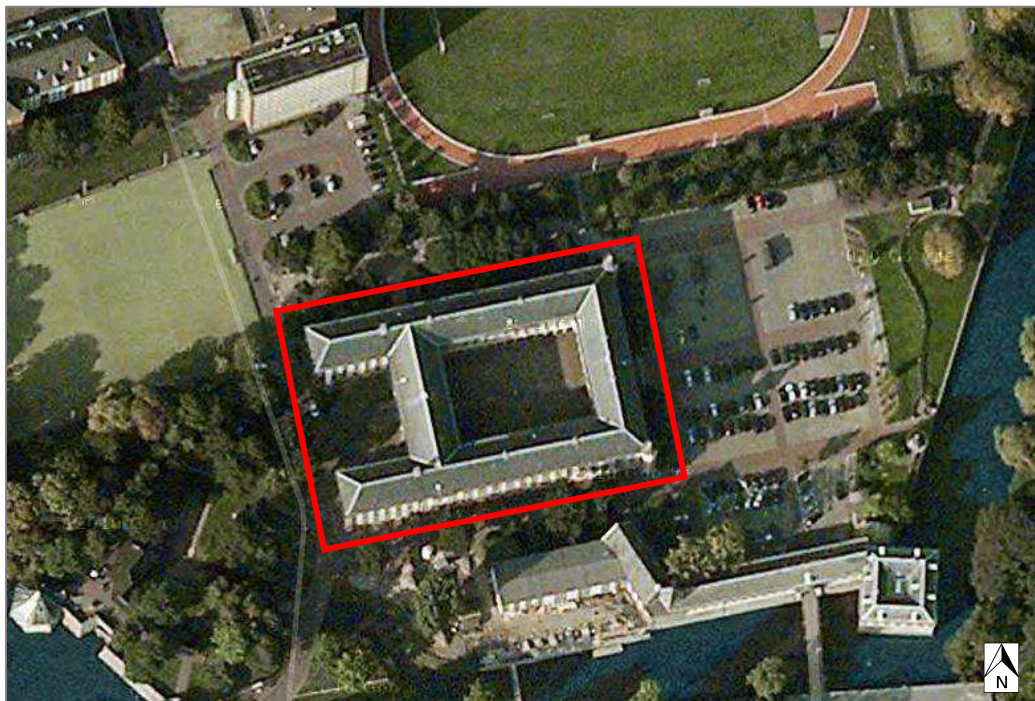
- Op basis van de bestaande plannen, die aangeleverd zijn door de opdrachtgever, is een planbeoordeling uitgevoerd. Onderzocht is of de voorgestelde bouwkundige en klimaattechnische aanpassingen voor deze situatie het meest gunstig en verantwoord zijn. Hierbij zijn diverse alternatieven bestudeerd. Om potentiële risico's in kaart te brengen, is een variantenstudie uitgevoerd met behulp van simulatieprogrammatuur.
- De bevindingen, conclusies en concrete aanbevelingen zijn beschreven in deze rapportage.

2 Globale analyse van bouwfysische aspecten

In dit hoofdstuk is een globale analyse beschreven van de bouwfysische aspecten van het kasteel, gebaseerd op waarnemingen ter plaatse en aangeleverde documentatie. Voor bouwkundige details wordt doorverwezen naar de rapportage van een recentelijk door onderzoeks- en adviesbureau BAAC bv uitgevoerd bouwhistorisch onderzoek [ref. 1]. Bijlage 1 toont ter indicatie de bouwkundige plattegronden van het kasteel.

2.1 Oriëntatie en geometrie

Het kasteel is gelegen op het terrein van de Koninklijke Militaire Academie, juist ten noorden van het historische stadshart van Breda. Het kasteel bestaat uit een onderkelderd hoofdgebouw van vier om een binnenplaats gelegen vleugels met zevenkante uitspringende torentjes op de oostelijke buitenhoeken. Het kasteel dateert uit de 16^{de} eeuw. De binnenplaats heeft een open galerij onder graatgewelven en zuilen. De westelijke uitbouwen en delen van de bovenverdieping zijn recentere toevoegingen en dateren uit de 19^{de} eeuw [ref. 2]. De oriëntatie van het kasteel wijkt ca. 10° af van de lijn west-oost (zie Figuur 1).



Figuur 1 Bovenaanzicht van het kasteel en omringende bebouwing

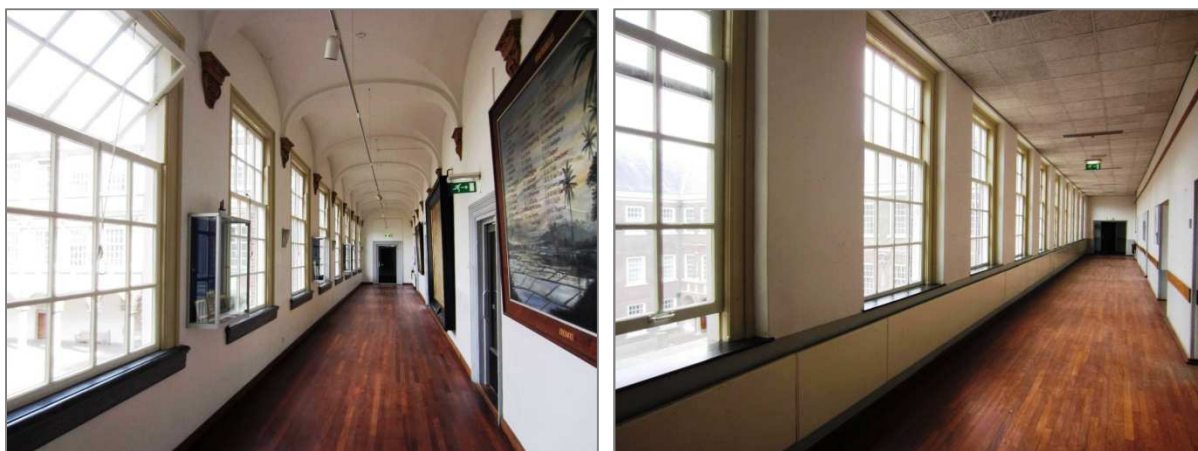
In de kelder bevinden zich o.a. technische ruimten, bergingen, een kantine en een schietruimte. Op de begane grond en eerste verdieping bevinden zich o.a. kantines, keukens, recreatievertrekken, kantoorvertrekken en legeringsvertrekken. Op de tweede verdieping bevinden zich hoofdzakelijk legeringsvertrekken en sanitaire voorzieningen. De grote zolder bestaat uit één groot luchtvolume en dient als opstelplaats voor machinerie van de werktuigkundige installatie, zoals luchtbehandelingskasten en ventilatoren ten behoeve van de mechanische ventilatie.



Figuur 2 Aanzicht van de oostgevel van het kasteel, met de entree naar de binnenplaats

2.2 Wanden

De buitenwanden zijn opgetrokken uit massief metselwerk met natuurstenen elementen, tot ca. 0,7 m dik. De buitenzijde van de gevels bestaan uit schoon metselwerk met natuurstenen elementen (zie Figuur 2). De binnenzijde van de wanden is over het algemeen afgewerkt met gewit stuukwerk.



Figuur 3 Afbeelding van de galerij op de 1^{ste} verdieping van de oostvleugel (links) en de galerij op de tweede verdieping van de zuidvleugel (rechts)

2.3 Vloeren en plafonds

Het kasteel is geheel onderkelderd. De keldervloer bestaat voornamelijk uit plavuizen en een cementdeklaag. Onder de keldervloer bevindt zich vermoedelijk een laag puin en/of zand. De begane grondvloer rust groten-deels op gemetselde gewelven, die in de kelder zichtbaar zijn. De gewelven zijn aan de bovenzijde geëgaliseerd met een zandlaag en aan de bovenzijde afgewerkt met een stenen vloer.

De verdiepingvloeren van het kasteel bestaan deels uit gemetselde kruisgewelven en deels uit houten vloerde-len gelegd op houten balken. In de westvleugel zijn ook stalen vloerbalken toegepast. Op de 1^{ste} en 2^{de} verdie-ping zijn in de jaren 50 en 60 deels gewapende betonvloeren aangebracht, hoofdzakelijk ter plaatse van de

toiletgroepen, de recentere trappenhuizen en torentjes. De vloerafdekking varieert per ruimte. Hoofdzakelijk zijn zeil en parket (zie Figuur 3) toegepast.

De plafonds in de vertrekken en de galerij 2^{de} verdieping bestaan over het algemeen uit een in de jaren 90 aangebracht verlaagd systeemplafond, waarboven zich grotendeels nog eerder aangebrachte plafonds van stuc-op-riet en steengaas bevinden.



Figuur 4 Afbeelding van de onderzijde van de plankenvloer van de zolder, waarop tevens het oude stucwerkplafond van de tweede verdieping te zien is (links); Op de zolderverdieping is de houten dakconstructie zichtbaar

2.4 Beglazing

De beglazing bestaat uit enkel blank glas met een houten roedeverdeling en is gevat in houten kozijnen. Ter plaatse van de galerijen is op de verdiepingsvloeren deels draadglas als binnenzetbeglazing geplaatst. Als licht- en zonwering zijn in de vertrekken vitrage en gordijnen toegepast. De vensters bestaan grotendeels uit schuiframen. Op de galerij van de eerste verdieping betreft het kantelramen.

Aan de gevels is geen buitenzonwering aanwezig. Ter plaatse van de zuidgevel zijn enkele bomen aanwezig, die in de zomer zorgen voor enige schaduwwerking.

2.5 Dak

De ongeïsoleerde kapconstructie is opgebouwd uit houten balken met een grenen houten dakbeschot (zie Figuur 4). Het schilddak is bedekt met lestenen.

2.6 Gebruik van het kasteel

Het kasteel wordt grotendeels gebruikt voor de legering van de eerstejaars cadetten, de officiersopleiding en ceremoniële bijeenkomsten.

3 Klimaattechnische inventarisatie

3.1 Verwarmingslichamen

De eerste en tweede verdieping van het kasteel worden verwarmd middels radiatoren. Er is geen koelinstallatie ten behoeve van de klimaatinstallaties aanwezig. In de vertrekken en in de galerij van de tweede verdieping zijn onder de vensters plaatradiatoren opgesteld. Op de galerij van de eerste verdieping zijn de radiatoren tegen de binnenwand aangebracht.



Figuur 5 Aanzicht van legeringsvertrek 228, waarbij de radiatoren onder de vensters zijn opgesteld (links); In gebouw E zijn drie gasgestookte cv-ketels opgesteld, o.a. ten behoeve van de verwarming van het kasteel

3.2 Warmteopwekking

De warmteopwekking ten behoeve van de verwarming en warmwatertoebereiding in het kasteel geschiedt decentraal. In de technische ruimte van het naastgelegen gebouw E zijn 3 parallel geschakelde gasgestookte cv-ketels opgesteld, met een totaal nominaal vermogen van 3.630 kW (zie Figuur 5). Deze ketels verzorgen ook de warmtevoorziening van enkele andere gebouwen op het KMA-terrein. Het cv-water wordt naar het kasteel getransporteerd via grondleidingen, over een tracé van ca. 30 meter.

De ketels zijn ca. 14 jaar oud en hebben daarmee nagenoeg hun technische levensduur bereikt. Omdat de cv-ketels afgesteld zijn op een hoogtemperatuurtraject (90°C toevoer, 70°C retour), is te verwachten dat de ketels op een relatief laag rendement draaien (<85%). Tabel 1 toont de eigenschappen van de opgestelde warmteopwekking.

Tabel 1 Gegevens van de warmteopwekking

Fabricaat en type	Novum Novumax HR1250LN
Brandstof	Aardgas
Aantal	3
Nominale belasting bovenwaarde	1.430 kW
Nominaal vermogen	1.210 kW
Bouwjaar	1999

3.3 Regeling van de verwarmingsinstallaties

De verwarmingsinstallatie van het kasteel is onderverdeeld in verschillende groepen:

- Groep noord-oost
- Groep zuid-west
- Groep torens

- Groep luchtbehandeling
- Groep oefenkelder
- Groep warmtewisselaar t.b.v. warm tapwaterbereiding

De na-regeling van het verwarmingssysteem geschiedt middels een gebouwbeheersysteem, waarbij de cv-watertemperatuur weersafhankelijk is voorgeregeld. De precieze regeling is niet achterhaald en wordt voor het onderzoek niet relevant geacht.

3.4 Natuurlijke ventilatie

De legeringsvertrekken en galerijen op de 1^{ste} en 2^{de} verdieping kunnen op een natuurlijke wijze worden geventileerd, middels te openen schuif- en kantelvensters.

3.5 Mechanische afzuiging

De keukens, kantines en recreatieruimten zijn voorzien van een ventilatiesysteem waarbij de lucht mechanisch toe- en afgevoerd wordt middels luchttoevoer- en luchtafvoerkasten, die op de zolder zijn opgesteld. De luchttoevoerkasten zijn in staat de toevoerlucht (grof) te filteren en te verwarmen.

De ruimten met de sanitaire voorzieningen worden mechanisch afgezogen.



Figuur 6 Aanzicht van enkele van de op zolder opgestelde luchttoevoerkasten

3.6 Energiegebruik

De drie gasgestookte cv-ketels in gebouw E zijn voorzien van een individuele bemetering. Medio 2013 hebben de cv-ketels ca. 6 miljoen m³ gas verbruikt, wat correspondeert met een jaarlijks gemiddeld gasgebruik van ca. 430.000 m³. Zoals reeds vermeld betreft het hier het gasgebruik voor de verwarming van meerdere gebouwen. Het merendeel van het gasgebruik is echter toe te schrijven aan warmtelevering ten behoeve van het kasteel. Van het jaarlijks elektriciteitsgebruik zijn geen gegevens bekend.

4 Analyse van meetdata

Van 15 maart tot 14 juni 2013 (91 dagen) zijn in diverse vertrekken binnenklimaatdata verzameld met het door de TU/e opgestelde telemetrisch meetsysteem. In dit hoofdstuk zijn de verkregen data geanalyseerd en zijn de constatering beschreven.

4.1 Doel van de metingen

De metingen zijn om de volgende redenen uitgevoerd:

- om een indruk te krijgen van het heersende binnenklimaat gedurende het stookseizoen;
- om een indruk te krijgen van de luchtkwaliteit in de legeringsvertrekken;
- om data te verkrijgen waarmee simulatiemodellen gekalibreerd kunnen worden.

4.2 Meetmethode

4.2.1 Toegepaste apparatuur

Het telemetrisch meetsysteem bestaat uit een draadloze meetset waarmee luchttemperatuur, relatieve vochtigheid (RV) en koolstofdioxideconcentratie (CO₂-concentratie) op diverse posities zijn geregistreerd. Ter plaatse is ook getracht om buitenklimaatdata vast te leggen (luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid). Deze buitensensor is echter om onbekende redenen na korte tijd verwijderd en naar binnen gelegd. In deze analyse is derhalve gebruik gemaakt van KNMI-data, afkomstig van het weerstation in Gilze-Rijen, hemelsbreed ca. 11 km ten oosten van het kasteel gelegen.

Door de sensoren geregistreerde data zijn verzonden naar de centraal opgestelde datalogger, waar de data zijn opgeslagen. Ook de verbinding tussen datalogger en laboratorium van de TU/e is draadloos uitgevoerd, waardoor het mogelijk is geweest de metingen op afstand te kunnen monitoren.



Figuur 7 De telemetrische meetset van de TU/e

In Bijlage 2 zijn de specificaties van de toegepaste gecombineerde luchttemperatuur- en relatieve vochtigheids-sensor weergegeven (transmitter: merk Etek, type GEN II GC-14E, sensor: merk Sensirion, type SHT75). Om het functioneren van de luchttemperatuur- en relatieve vochtigheidssensoren te controleren, zijn deze in combinatie met de transmitters voor aanvang van de metingen gekalibreerd. De onzekerheid van de gepresenteerde meetresultaten verkregen met het telemetrisch meetsysteem bedraagt ca. 0,2°C en 3%RV.

4.2.2 Meetperiode en meetposities

De meetapparatuur is op vrijdag 15 maart 2013 in overleg met de opdrachtgever geplaatst. Er is tot vrijdag 14 juni gemeten. De eerste weken van de meetperiode hebben slechts beperkt data opgeleverd, omdat er geen permanente spanningstoevoer naar de op zolder opgestelde logger aanwezig bleek te zijn. De logger is hierna op verzoek verplaatst naar de tweede verdieping, waarna geen problemen meer op zijn getreden met de dataopslag en een continue file is verkregen. Tabel 2 en de plattegronden van Bijlage 1 tonen een omschrijving en overzicht van de meetposities.

Tabel 2 Omschrijving van de meetposities

Meetpositie	Grootheid	Hoogte [m]*
1. Buiten, noordelijk dakvlak zolder zuidvleugel**	Temperatuur, RV	2,0 m
2. Zolder, boven legeringsvertrek 228	Temperatuur, RV	1,7 m
3. Legeringsvertrek 228 tweede verdieping	Temperatuur, RV, CO ₂	2,0 m
4. Gang voor legeringsvertrek 228	Temperatuur, RV	1,9 m
5. Legeringsvertrek 109 eerste verdieping	Temperatuur, RV, CO ₂	1,9 m
6. Gang voor legeringsvertrek 109	Temperatuur, RV	1,7 m

*hoogte boven verdiepingsvloerniveau

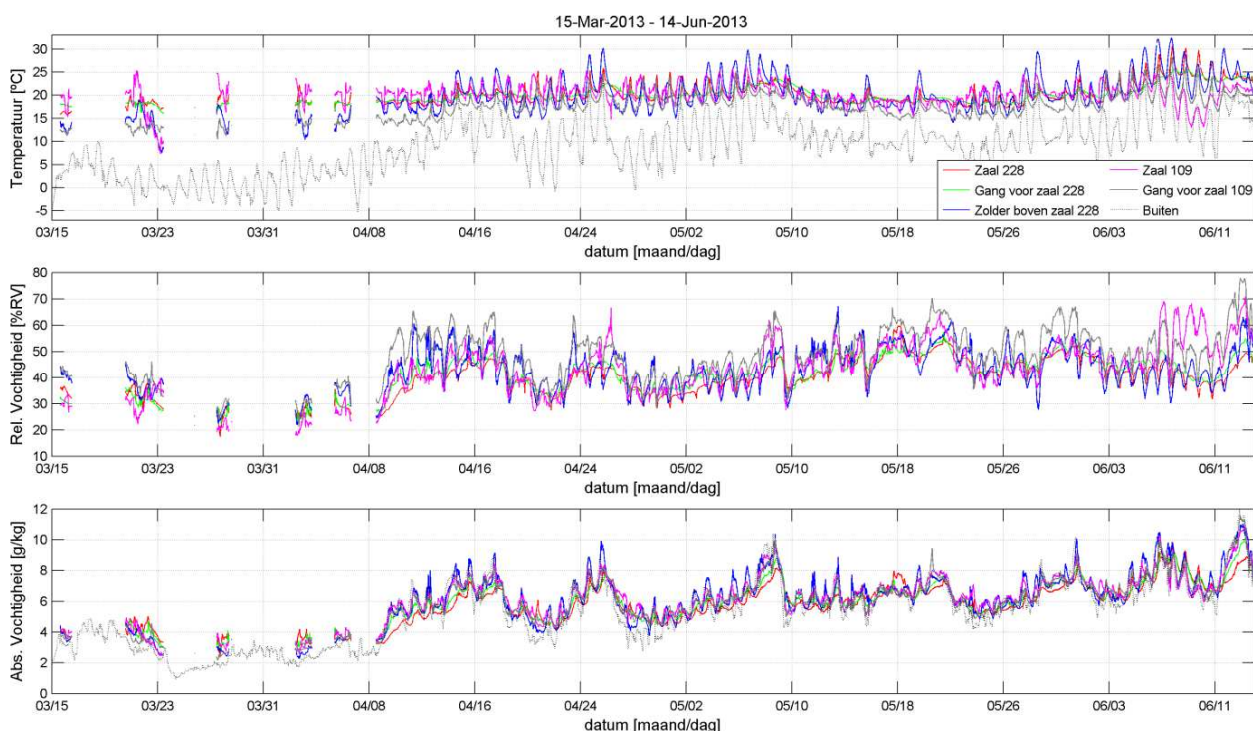
**van deze meetpositie zijn slechts beperkt data beschikbaar

4.3 Analyse meetdata

4.3.1 Temperatuur en RV

Figuur 8 toont een grafiek met daarin weergegeven de op diverse posities gemeten temperatuur en RV. Zoals reeds vermeld, is gedurende de eerste weken van de meetperiode slechts beperkt data opgeslagen. Op basis van de verkregen data kunnen de volgende zaken geconstateerd worden:

- De luchttemperatuur op de zolder kan flink fluctueren, afhankelijk van de buitenluchttemperatuur en bezonning van het dakvlak op dat moment. Door de warmteafgifte van de op zolder opgestelde (klimaat)apparatuur en de warmtewinst van de ondergelegen vertrekken, zijn nauwelijks temperaturen lager dan 10°C gemeten, terwijl het buiten op dat moment matig kan vriezen. Hoewel niet gemeten, wordt verwacht dat de luchttemperatuur op zolder zeer hoog kan oplopen in de zomer, als gevolg van de grote ongeïsoleerde en met donkere lijstenen afgedekte zonbelaste dakvlakken.
- Als gevolg van de ontbrekende buitenzonwering, kan de luchttemperatuur in legeringsvertrek 228 (westgevel) hoog oplopen (>25°C), als de zon in de namiddag en 's avonds binnen schijnt.
- Aan de luchttemperatuur in legeringsvertrek 109 (oostgevel) is minder invloed van de zon zichtbaar. De temperatuur fluctueert minder dan in de ruimten die aan de westgevel gelegen zijn.
- Het absoluut vochtgehalte (g/kg) in de vertrekken volgt het absoluut vochtgehalte van de buitenlucht. Op de meetposities is geen verhoogde vochtigheid als gevolg van een hoge vochtproductie geconstateerd.

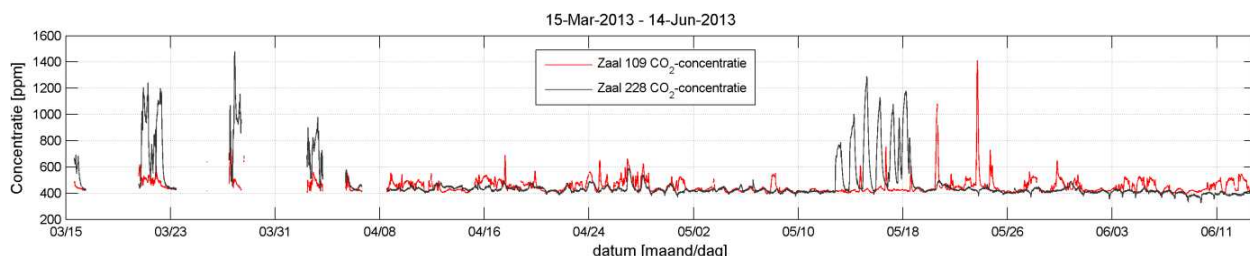


Figuur 8 Weergave van de gemeten temperatuur en RV op de diverse meetposities

4.3.2 Luchtkwaliteit

Van 15 maart tot 14 juni 2013 is in legeringszalen 109 en 228 een luchtkwaliteitsmeting uitgevoerd, door de koolstofdioxideconcentratie te monitoren. Koolstofdioxide (CO_2) is een kleurloos en reukloos gas dat van nature in de atmosfeer voorkomt. Mensen produceren CO_2 , dat via uitademing in de ruimtelucht geraakt. De CO_2 -concentratie is een indicator voor de luchtkwaliteit en de ventilatie-efficiëntie van een ruimte. Indien er onvoldoende geventileerd wordt, zal bij een hoge bezettingsgraad van een ruimte de concentratie stijgen. In diverse literatuurbronnen is een (hygiënische) grenswaarde van 1.000 of 1.200 ppm genoemd, voor bijv. scholen en kantoorgebouwen [ref. 3, 4]. Boven deze waarden kan de luchtkwaliteit als benauwd ervaren worden en kunnen er welzijnsklachten optreden.

Gedurende de meetperiode kenden de twee legeringsvertrekken een wisselende bezetting. Voor zover bekend is zaal 109 gedurende de meetperiode met maximaal 6 personen bezet geweest en zaal 228 met maximaal 4 personen. Figuur 9 toont een grafiek van de gemeten CO_2 -concentratie. Hieruit blijkt dat de luchtkwaliteit niet zorgwekkend te noemen is. De CO_2 -concentratie kan 's nachts weliswaar kortstondig een piekwaarde van ruim 1.400 ppm bereiken, doch over het algemeen blijven de waarden 's nachts ruimschoots lager dan 1.200 ppm. Dit komt omdat de vensters overdag en vaak ook 's nachts deels geopend zijn.



Figuur 9 Weergave van de gemeten CO_2 -concentratie in legeringszaal 109 en 228

4.4 Infraroodanalyse gebouwschil

Bijlage 3 toont een selectie van de infraroodopnamen die gemaakt zijn op vrijdag 15 maart 2013. De buitenluchttemperatuur bedroeg ten tijde van de opnamen ca. 3°C, bij een gemiddelde windkracht van 3 Bft uit zuidelijke richting. Met behulp van infraroodthermografie zijn o.a. de oppervlaktetemperaturen van de gevel aan de binnen- en buitenzijde onderzocht. De buitengevel en bedaking hebben op deze ochtend deels kortstondig bezonning ontvangen, wat een vertekend beeld kan geven van de weergegeven oppervlaktetemperaturen. Dit is derhalve bij de betreffende afbeeldingen vermeld.

Aan de hand van de opnamen kunnen de volgende zaken geconstateerd worden:

- Via geopende vensters treedt een hoog energieverlies op (zie Figuur 19, Figuur 20, Figuur 25 en Figuur 28). Terwijl de radiatoren vol geopend zijn, verdwijnt in diverse vertrekken veel warmte naar buiten door geopende vensters. Daarnaast is zichtbaar dat via de enkele beglazing een hoog energieverlies optreedt.
- Het warmteverlies door de massieve gevel lijkt beperkt.
- In de legeringsvertrekken zijn vitrage en gordijnen aanwezig. Dit heeft een fors effect op de gemiddelde stralingstemperatuur ter plaatse van de gevel (zie Figuur 47 en Figuur 48). Zo is zichtbaar dat de glastemperatuur ca. 10°C bedraagt, terwijl de temperatuur van de vitrage ca. 16°C bedraagt.
- In de galerijen op de eerste en tweede verdieping is deels draadglas als binnenzetbeglazing toegepast. Zichtbaar is dat dit een fors effect heeft op het warmteverlies en de oppervlaktetemperatuur van de beglazing (zie Figuur 38, Figuur 50 en Figuur 51). De binnenoppervlaktetemperatuur van de beglazing is bij de binnenzetbeglazing ca. 5°C hoger.
- Via het ongeïsoleerde dak is een verhoogd warmteverlies zichtbaar. Figuur 19 t/m Figuur 21 (oost- en zuidgevel) zijn hiervoor niet representatief, daar de zichtbare opwarming van het dak op deze afbeeldingen het gevolg is van kortstondige bezonning. Figuur 25, Figuur 28, Figuur 30 en Figuur 37 (west- en noordgevel) tonen echter ook duidelijk een verhoogd warmteverlies.

5 Simulatiestudie

5.1 Introductie warmte- en vochtsimulatie

5.1.1 HAMBASE-Simulink

Met behulp van het model HAMBASE [ref. 5] is een studie uitgevoerd naar de bouwfysische effecten van diverse renovatiemaatregelen in het kasteel. HAMBASE, de afkorting van Heat Air Moisture Building And Systems Evaluation, is een simulatiemodel dat aan de TU/e ontwikkeld is voor onderzoek naar het warmte- en vochttransport in een gebouw. Met het model kunnen temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de lucht en nabij oppervlakken berekend worden. Tevens kan dit model inzicht geven in energiegebruik en capaciteit van klimaatinstallatiecomponenten zoals verwarming, koeling, bevochtiging en ontvochtiging.

De basis van HAMBASE is een bouwfysisch model van een gebouw, dat alfanumeriek wordt ingevoerd. Het gebouwmodel bestaat uit meerdere zones, waaraan vervolgens eigenschappen zijn toegekend. Zo worden volumes, oppervlakken, scheidingsconstructies, beglazing, interne vochtbronnen en andere parameters gekoppeld aan een zone. Middels de koppeling van HAMBASE en Simulink [ref. 6], is per zone o.a. een aparte klimaatinstallatie te specificeren.

Tenslotte wordt er een KNMI-buitenklimaatfile aan het gebouwmodel gekoppeld, waarna de warmte- en vochtstromen over een opgegeven tijdsinterval berekend worden. De output van de simulatie wordt gegeven in grafieken en matrices. Voor deze studie is gebruik gemaakt van een buitenklimaatfile gebaseerd op data van KNMI-station Gilze-Rijen.

5.1.2 WUFI

Met behulp van het computerprogramma WUFI [ref. 7] zijn de hygrothermische effecten van de verschillende in aanmerking komende isolatievarianten nader bestudeerd. WUFI, de afkorting van Wärme und Feuchte Instationair, is ontwikkeld door het Fraunhofer Institut für Bauphysik in Duitsland. Met behulp van dit programma is het gekoppelde warmte- en vochttransport in eendimensionale meerlaagse bouwdelen berekend en gevisualiseerd. Bij de berekeningen houdt het programma rekening met buitenklimaatfactoren, zoals zon- wind- en neerslaginvloeden op de gevel. De jaarlijkse buitenklimaatgegevens die bij de simulatie gebruikt worden, zijn afkomstig uit een klimaatfile. Voor de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid van het binnenklimaat is een sinuscurve verondersteld, waarbij bijvoorbeeld onderscheid gemaakt kan worden tussen een matige en een zware interne vochtbelasting.

5.2 Doelen en methodes van de simulatiestudie

5.2.1 HAMBASE-Simulink

De doelstellingen en methodiek van de uitgevoerde simulatiestudie kunnen als volgt worden beschreven:

- Opstellen van een geverifieerd basismodel: Het basismodel is een vereenvoudigd model dat bestaat uit twee zones, namelijk legeringsvertrek 228 op de tweede verdieping met de bovengelegen zolder. De geometrie en bouwfysische eigenschappen per zone zijn gebaseerd op de aangeleverde informatie en ter plaatse geïnventariseerde gegevens. Het basismodel is geverifieerd met behulp van meetdata en dient als basis om verbeteropties te onderzoeken.
- Variantenstudie: het basismodel is aangepast met de diverse variaties in oriëntatie (zuid/noord) en bouwfysische eigenschappen. Het doel hiervan is om het klimatologische en bouwfysische effect van de verschillende klimaattechnische en bouwfysische ingrepen te kunnen bestuderen. Bij de varianten zijn o.a. de ontwikkeling van de binnenluchttemperatuur en het optreden van bouwfysische risico's zoals condens en het risico op vorstschade onderzocht. De volgende varianten zijn bestudeerd:
 - o variaties in de oriëntatie van het vertrek: zuid en noord (koude en warme zijde, t.g.v. zonbelasting);
 - o variaties met de U-waarde (isolatiegraad) en ZTA-waarde (zontoetredingsfactor) van het glassysteem;
 - o variaties met de U-waarde van de gevel en de zoldervloer.

Concreet zijn voor de volgende simulatievarianten het benodigd verwarmingsvermogen, de warmteontwikkeling in de zomer en de optredende oppervlaktetemperaturen van de buitengevel i.v.m. vorstschade onderzocht:

- Variant 1a: basismodel met gevel op zuiden.
- Variant 1b: basismodel met gevel op noorden.
- Variant 2a: basismodel met gevel op zuiden, **0,14 m isolatie binnenzijde gevel + isolatieglas**.
- Variant 2b: basismodel met gevel op noorden, **0,14 m isolatie binnenzijde gevel + isolatieglas**.
- Variant 3: basismodel met gevel op zuiden, **0,14 m isolatie binnenzijde gevel + zonwerend isolatieglas**.
- Variant 4a: basismodel met gevel op zuiden, **zonwerend isolatieglas**.
- Variant 4b: basismodel met gevel op noorden, **isolatieglas**.
- Variant 5a: basismodel met gevel op zuiden, **0,10 m isolatie zoldervloer + zonwerend isolatieglas**.
- Variant 5b: basismodel met gevel op noorden, **0,10 m isolatie zoldervloer + isolatieglas**.

Voor de simulatievarianten is een geheel kalenderjaar doorgerekend. Hierbij is gebruik gemaakt van het klimaatjaar 2010, KNMI-locatie De Bilt, dat een warme zomer kende (27 zomerse dagen) en een koude winter (29 ijsdagen).

Tabel 3 Overzicht van de verschillende simulatievarianten

Model	Oriëntatie buitengevel	Beglazing	Wandopbouw
Basismodel	West	Enkel $U = 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,6 m baksteen
Variant 1a	Zuid	Enkel $U = 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,7 m baksteen
Variant 1b	Noord	Enkel $U = 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,7 m baksteen
Variant 2a	Zuid	Dubbel $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,7 m baksteen + 0,14 m iso
Variant 2b	Noord	Dubbel $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,7 m baksteen + 0,14 m iso
Variant 3	Zuid	Z-Dubbel* $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,7 m baksteen + 0,14 m iso
Variant 4a	Zuid	Z-Dubbel* $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,7 m baksteen
Variant 4b	Noord	Dubbel $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,7 m baksteen
Variant 5a	Zuid	Z-Dubbel* $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,7 m baksteen**
Variant 5b	Noord	Dubbel $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,7 m baksteen**

*Isolerende beglazing met zonwerende coating waardoor de ZTA-waarde verlaagt van 0,80 naar 0,34

**Bij deze varianten is de buitenwand ongeïsoleerd, doch is de zoldervloer voorzien van 0,10 m isolatiemateriaal

5.2.2 WUFI

Met het programma WUFI is voor verschillende varianten een analyse uitgevoerd van het vochtgehalte in de gevel gedurende het jaar. Daarnaast zijn ook de oppervlaktetemperatuur en -RV van de buitengevel geanalyseerd. In totaal zijn 3^{de} kalenderjaren doorgerekend, waarvan de simulatieresultaten van het laatste jaar bestudeerd zullen worden. De eerste twee jaren dienen als zg. inslengerjaren en zijn bij de analyse buiten beschouwing gelaten. De volgende varianten zijn doorgerekend:

- Variant a1: Ongeïsoleerde zuidgevel, lage interne vochtbelasting
- Variant a2: Ongeïsoleerde zuidgevel, hoge interne vochtbelasting
- Variant a3: Ongeïsoleerde noordgevel, lage interne vochtbelasting
- Variant a4: Ongeïsoleerde noordgevel, hoge interne vochtbelasting
- Variant b1: Na-geïsoleerde zuidgevel (XPS), lage interne vochtbelasting
- Variant b2: Na-geïsoleerde zuidgevel (XPS), hoge interne vochtbelasting
- Variant b3: Na-geïsoleerde noordgevel (XPS), lage interne vochtbelasting
- Variant b4: Na-geïsoleerde noordgevel (XPS), hoge interne vochtbelasting

- Variant c1: Na-geïsoleerde zuidgevel (minerale wol), lage interne vochtbelasting
- Variant c2: Na-geïsoleerde zuidgevel (minerale wol), hoge interne vochtbelasting
- Variant c3: Na-geïsoleerde noordgevel (minerale wol), lage interne vochtbelasting
- Variant c4: Na-geïsoleerde noordgevel (minerale wol), hoge interne vochtbelasting

Als buitenklimaatfile zijn weergegevens van Kassel (D) van het jaar 2010 gebruikt. De interne vochtbelasting is gebaseerd op een sinusvormige jaarlijkse RV-curve, conform WTA-richtlijn 6-2-01/E 2004 [ref. 8]. Dit behelst voor een lichte vochtbelasting een sinuscurve met een gemiddelde van 45%RV en een amplitude van 15%RV en voor een zware vochtbelasting en sinuscurve met een gemiddelde RV van 55% en een amplitude van 5%.

De ingevoerde ongeïsoleerde gevelopbouw bestaat uit 0,7 m metselsteen, aan de binnenzijde voorzien van een 0,02 m dikke zandcement laag. De ingevoerde na-geïsoleerde gevelopbouw bestaat uit 0,7 m metselsteen, 0,02 m zandcement en een 0,14 m dik isolatiemateriaal. Hierbij is het effect van een dampdicht isolatiemateriaal (XPS) en een dampopen materiaal (minerale wol) onderzocht.

5.3 Resultaten HAMBASE-Simulink

5.3.1 Basismodel HAMBASE-Simulink

De tekstuele invoer van het basismodel is gegeven in Bijlage 4. Een afbeelding van de opbouw van het Simulinkmodel is gegeven in Bijlage 5. Bijlage 6 toont een vergelijking tussen de gesimuleerde data en de gemeten data, gedurende de simulatieperiode die loopt van 9 april t/m 14 juni 2013. Weergegeven zijn enkele grafieken, waarin de gemeten en gesimuleerde temperatuur, RV en het absoluut vochtgehalte vergeleken worden voor zone 1 en zone 2 (zie Bijlage 6 Figuur 61 en Figuur 63). Ook zijn ter vergelijking de simulatiedata en meetdata in psychrometrische kaarten getoond (zie Bijlage 6 Figuur 62 en Figuur 64). De simulatie- en meetresultaten liggen niet geheel over elkaar. De afwijking wordt hoofdzakelijk veroorzaakt doordat:

- het model een vereenvoudigde representatie van de werkelijke bouwkundige situatie betreft;
- buitenklimaatdata van een andere locatie zijn gebruikt (KNMI-station Gilze-Rijen);
- het ingevoerde ventilatievoud als constant is verondersteld over de gehele simulatieperiode;
- gedurende deze periode in werkelijkheid een variabel gebruik is gemaakt van de ruimte, qua personele bezetting, instellingen van de radiatorknoppen en het openen van ramen.

Zichtbaar is echter dat voldoende overeenstemming bestaat tussen de metingen en de gesimuleerde waarden, waardoor dit model als uitgangspunt kan dienen om varianten mee te onderzoeken.

5.3.2 Resultaten variantenstudie: analyse energieverbruik en warmteontwikkeling zomer

Door het na-isoleren van de gevel en het aanbrengen van isolerende beglazing, is te verwachten dat minder verwarmingsvermogen nodig is omdat de warmtetransmissie door de gevel en beglazing afnemen. Simulatieresultaten tonen aan dat het benodigde verwarmingsvermogen ongeveer halveert, als de gevel nageïsoleerd wordt en isolerende beglazing aangebracht wordt (variant 2a en 2b).

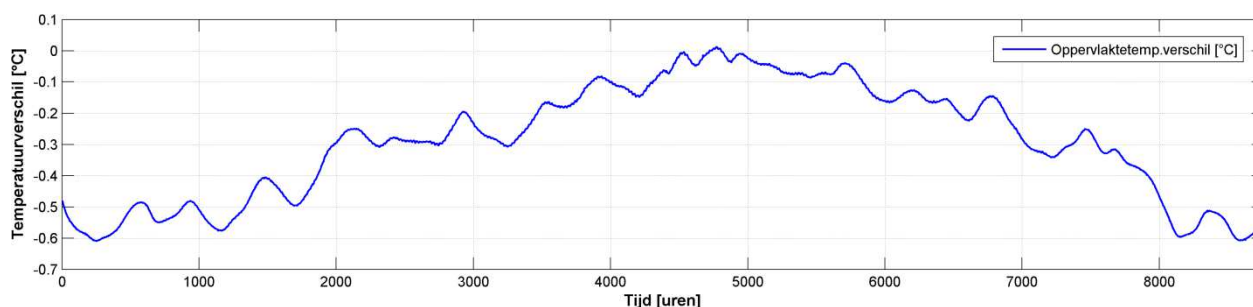
Doordat het gebouw 's nachts als gevolg van de isolatie minder kan afkoelen, zijn echter problemen te verwachten met het aantal temperatuuroverschrijdingsuren. Simulatieresultaten tonen aan dat het aantal overschrijdingsuren boven de 25°C in de vertrekken aan de zuidzijde drastisch toeneemt, met een factor 2,8. Hierdoor zal additionele koeling of buitenzonwering toegepast moeten worden of zal aan de zonbelaste gevels isolerende beglazing met zonwerende eigenschappen toegepast moeten worden (variant 3). Door zonwerende beglazing met een ZTA-waarde van ca. 0,34 toe te passen, kan het aantal overschrijdingsuren fors beperkt worden.

Uit de simulatieresultaten blijkt voorts dat het effect van gevelisolatie ten opzichte van het plaatsen van isolerende beglazing beperkt is. Variant 4 toont aan dat door slechts isolerende beglazing te plaatsen ca. 40% besparing optreedt. Door de isolerende beglazing aan de zonbelaste gevels van een zonwerende coating te voorzien, lijkt het toepassen van additionele koeling overbodig.

In de winter kunnen op zolder relatief lage temperatuur heersen en in de zomer kunnen de temperaturen op zolder (zeer) hoog oplopen. Simulatieresultaten (variant 5a en 5b) tonen dat het aanbrengen van een laag thermische isolatie ter plaatse van de zoldervloer een gunstig effect heeft op het energiegebruik en het aantal temperatuuroverschrijdingsuren in de vertrekken op de 2^{de} verdieping.

5.3.3 Resultaten variantenstudie: risico vorstschade gevel

Vorstschade aan een gevel kan ontstaan na langdurige regenval, direct gevolgd door strenge vorst, als intern te grote spanningen ontstaan door de volumetoename als gevolg van de faseverandering van water in ijs. Het risico op vorstschade is hier globaal geanalyseerd door het verschil te berekenen tussen de oppervlaktetemperatuur van de ongeïsoleerde (variant 1b) en na-geïsoleerde gevel (variant 2b) aan de noordzijde.



Figuur 10 Weergave van het berekende oppervlaktetemperatuurverschil van de ongeïsoleerde en na-geïsoleerde gevel aan de noordzijde, gedurende het klimaatjaar 2010

Figuur 10 toont een grafiek waarin het gesimuleerde jaarlijkse temperatuurverschil tussen de na-geïsoleerde en ongeïsoleerde buitengeveloppervlak is weergegeven. Zichtbaar is dat de oppervlaktetemperatuur van de buitengevel gedurende de winter tot 0,6°C kouder kan zijn, doordat na isolatie minder warmtetransmissie optreedt. Vergelijken met een lichtere constructie (>0,3 m baksteen), is het effect relatief beperkt. Door de zware constructie zijn de oppervlaktetemperaturen van de buitenzijde van de gevel in de winter reeds vrij laag.

Tabel 4 toont een overzicht van de resultaten van alle simulatievarianten. De procentuele toename van het aantal temperatuuroverschrijdingsuren aan de noordgevel na het aanbrengen van gevelisolatie lijkt extreem. Doch omdat het aantal overschrijdingsuren van dit vertrek aan de zononbelaste gevelzijde in de basissituatie (variant 1b= 100%) reeds zeer laag is, zijn geen problemen met betrekking tot het thermisch comfort te verwachten.

Tabel 4 Samenvatting van de simulatieresultaten van de verschillende doorgerekende varianten

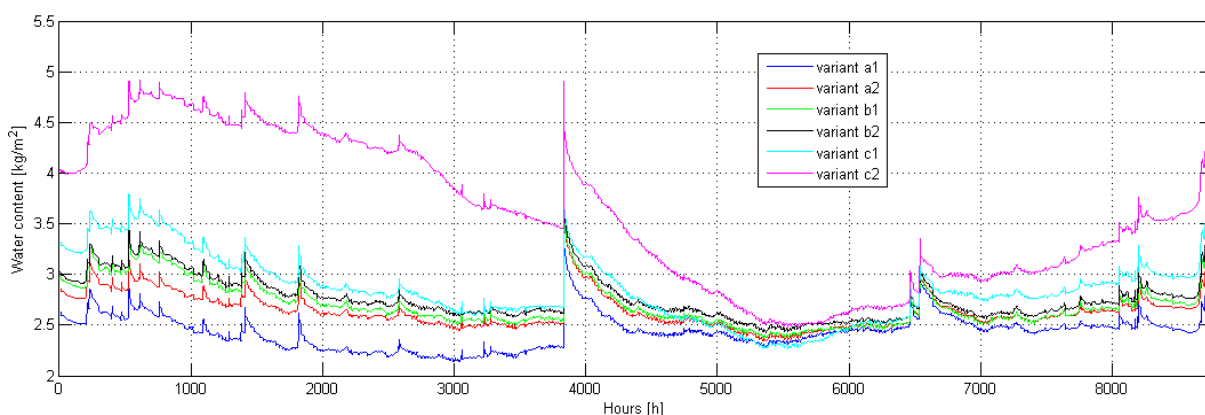
Model	Oriëntatie	Verwarmingsvermogen	Overschrijdingsuren $T_i > 25^\circ\text{C}$	Vorst risico gevel
Basismodel	West	100%	100%	Neutraal
Variant 1a	Zuid	100%	100%	Neutraal
Variant 2a	Zuid	45%	236%	Toename
Variant 3	Zuid	53%	101%	Toename
Variant 4a	Zuid	63%	83%	Neutraal
Variant 5a	Zuid	58%	79%	Neutraal
Variant 1b	Noord	100%	100%	Neutraal
Variant 2b	Noord	47%	273%	Toename
Variant 4b	Noord	57%	204%	Neutraal
Variant 5b	Noord	52%	197%	Neutraal

5.4 Resultaten WUFI

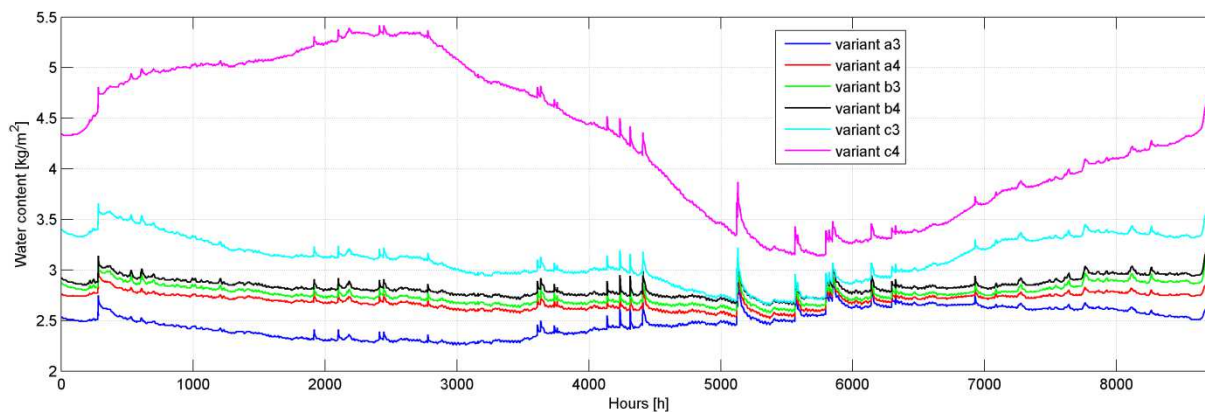
5.4.1 Watergehalte in de gevel

Figuur 11 toont de simulatieresultaten van de zuidgevel, waarbij is gevarieerd met interne vochtbelasting (1= laag, 2= hoog) en gevelopbouw (a= ongeïsoleerd, b= na-geïsoleerd met XPS, c= na-geïsoleerd met minerale wol). Figuur 12 toont de simulatieresultaten van de noordgevel. Uit de grafieken is op te maken dat het watergehalte in de gevel sterk afhankelijk is van de oriëntatie, interne vochtbelasting en bouwfysische eigenschappen van de gevel. De oriëntatie is van belang in verband met het verschil in regen-, wind- en zonbelasting. De mate van de interne vochtbelasting is van belang omdat vocht door de gevel van binnen naar buiten zal migreren. Bouwfysische eigenschappen, zoals de dikte, isolatiewaarde en dampdoorlatendheid van de constructiedelen, bepalen tevens in grote mate het geaccumuleerde watergehalte in de gevel.

De meest kritische situatie treedt op als de gevel inwendig na-geïsoleerd wordt met een dampopen isolatiemateriaal en een hoge inwendige vochtbelasting aanwezig is. In dergelijke gevallen kan condensatie optreden in de constructie. Dit is met name het geval aan de noordgevel, omdat daar minder droging optreedt, als gevolg van een minimale zonbelasting.



Figuur 11 Berekende ontwikkeling van het watergehalte in de zuidgevel voor de verschillende varianten



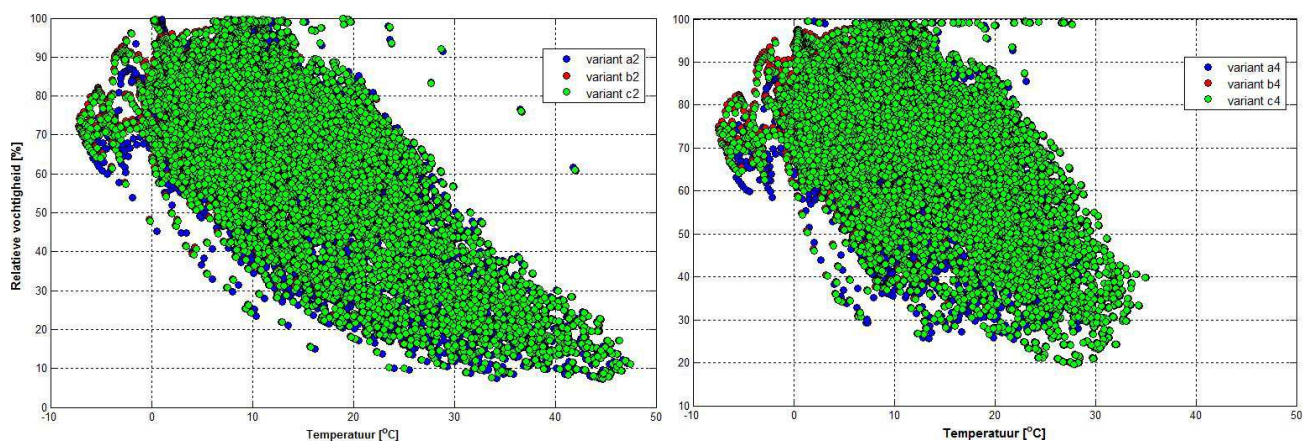
Figuur 12 Berekende ontwikkeling van het watergehalte in de noordgevel voor de verschillende varianten

5.4.2 Vorstrisico

Net als de resultaten van HAMBASE, tonen ook de simulatieresultaten van WUFI dat de oppervlaktetemperatuur in de winter kan afnemen, als na-isolatie wordt toegepast. Dit effect is slechts beperkt en maximaal ca. 0,9°C, doch samen met een hogere RV aan het oppervlak betekent dit een potentieel verhoogd risico met betrekking tot vorstschade.

Figuur 13 toont twee scatterplots, een voor de zuid- en een voor de noordgevel, voor de drie doorgerekende varianten (a= ongeïsoleerd, b= na-geïsoleerd met XPS, c= na-geïsoleerd met minerale wol). Zichtbaar is dat het verschil tussen ongeïsoleerd (blauwe stippen) en na-geïsoleerd (groene en rode stippen) leidt tot een beperkt

koudere en vochtiger buitengeveloppervlak in de winter. Het type isolatiemateriaal heeft nagenoeg geen invloed. Omdat de temperatuur van de noordgevel als gevolg van het ontbreken van bezonning in de zomer veel lager is (max. ca. 34°C) dan de zuidgevel (max. ca. 47°C), is de noordgevel gedurende het jaar veel vochtiger.



Figuur 13 Scatterplots van de gesimuleerde oppervlaktecondities van de zuidgevel (links) en noordgevel (rechts)

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Algemeen

De bouwkundige schil van het kasteel is thans niet thermisch geïsoleerd. Dit heeft in de winter het nadeel dat een verhoogd warmteverlies optreedt, waardoor een verhoogd energiegebruik voor verwarming nodig is. In de zomer is echter een voordeel aanwezig. De relatief zware constructie fungeert namelijk als een thermische buffer, waardoor het binnenklimaat op een passieve doch effectieve wijze gekoeld wordt.

Als aan de binnenzijde van de buitenwanden thermische isolatie geplaatst wordt, heeft dat tot gevolg dat het bufferende effect van de constructie te niet gedaan wordt. Het aanbrengen van thermische isolatie leidt weliswaar gedurende het stookseizoen tot een energiebesparing, in de zomer kunnen de ruimtetemperaturen echter hoog oplopen. Dit is met name het geval in de ruimten aan de zonbelaste gevels. Wil in deze ruimten een thermisch behaaglijk klimaat gerealiseerd worden, dan zal ofwel een adequate (buiten)zonwering toegepast moeten worden, ofwel mechanische koeling toegepast moeten worden. Het laatste leidt tot extra installatiekosten, onderhoudskosten en energiegebruik.

Ter plaatse van de gebruiksr ruimten met een beperkte vochtbelasting zijn geen hoge bouwfysische risico's te verwachten, als deze voldoende geventileerd worden. Randvoorwaarde hierbij is dat monumentale constructiedelen niet dampdicht ingepakt worden, met bijvoorbeeld een ongeschikt isolatiemateriaal of folie. De bouwfysische risicogebieden bevinden zich met name ter plaatse van de ruimten met een hoge vochtbelasting: de natte cellen. Risico's kunnen aldaar ondervangen worden door gebruik te maken van een zg. doos-in-doosconstructie, waarbij de monumentale constructie wordt gescheiden van de ruimte, middels een dampdichte constructie, die is voorzien van een afzonderlijk ventilatiesysteem.

6.2 Bevindingen klimaatmetingen

In twee legeringsvertrekken zijn gedurende een aantal weken tijdens het stookseizoen metingen verricht naar temperatuur en de relatieve vochtigheid. Tevens is de CO₂-concentratie gemonitord, om een indruk te krijgen van de luchtkwaliteit. De meetresultaten zijn gebruikt om simulatiemodellen mee te kalibreren. Op basis van de meetresultaten kan gesteld worden dat de luchtkwaliteit in de legeringsvertrekken als voldoende kan worden beoordeeld. Doordat veelvuldig gebruik is gemaakt van de schuiframen, wordt vocht op een effectieve wijze weggeventileerd en treedt voldoende verse lucht de ruimten binnen.

In de vertrekken op de westzijde is geconstateerd dat gedurende het stookseizoen temperatuuroverschrijdingen kunnen optreden, als gevolg van bezonning en het ontbreken van effectieve zonwering. Dit is ook aan de zuidgevel te verwachten.

Het op zolder gemeten klimaat is qua temperatuur vrij extreem te noemen. Door de grote zonbelaste en ongeïsoleerde dakvlakken, kunnen grote dagelijkse temperatuurschommelingen optreden. Door warmteafgifte van de opgestelde (klimaat)apparatuur en warmtewinst van de tweede verdieping, blijft de luchttemperatuur in de winter relatief hoog liggen, ook tijdens matige vorst. In de zomer is te verwachten dat zeer hoge luchttemperatuur (>35°C) kunnen heersen op zolder.

6.3 Bevindingen simulatiestudie

Simulatiresultaten tonen aan dat het thermisch opwaarderen van het raamsysteem een grotere invloed heeft op het energiegebruik en het thermisch comfort in de vertrekken dan het gevelsysteem. Dit is ook logisch te verklaren, gezien de relatief grote vensteroppervlakken en de al redelijk aanwezige warmteweerstand van de tot 0,7 m dikke gevels. Samengevat zijn de volgende constatering en gedaan:

- Door het thermisch opwaarderen van de gevel en beglazing is berekend dat ter plaatse van de 1^{ste} en 2^{de} verdieping ca. 50% minder verwarmingsvermogen nodig is. Door slechts de beglazing thermisch op te waarderen, is ca. 40% minder verwarmingsvermogen nodig.
- Door de gevel aan de binnenzijde na te isoleren en isolatieglas te plaatsen, neemt de jaarlijks gemiddelde binnenluchttemperatuur toe. In de vertrekken aan de zonbelaste zijden zullen dan problemen ontstaan met het aantal temperatuuroverschrijdingsuren. Dit is het gevolg van het feit dat de constructie in de zomer tijdens de nachtelijke uren veel minder kan afkoelen. Om te vermijden dat mechanische koeling nodig

is, zal op de zonbelaste gevels buitenzonwering of een beglazingssysteem toegepast moeten worden dat voorzien is van een zonwerende coating. Berekend is dat de ZTA-waarde dan bijvoorkeur ca. 0,34 of lager dient te bedragen. Een dergelijke beglazing kan echter een veranderd gevelbeeld geven.

- Als een dampopen isolatiemateriaal aan de binnenzijde geplaatst wordt, kan het watergehalte in de gevel fors toenemen. Dit is sterk afhankelijk van de interne vochtbelasting in de ruimte. Bij een hoge vochtbelasting kan condensatie in de constructie optreden, waardoor bouwfysische risico's ontstaan nabij bijvoorbeeld thermische bruggen als balkkoppen.
- Het plaatsen van binnenisolatie aan de buitengevel heeft een mogelijk negatief effect op het risico op vorstschade van de buitengevel. De buitengevel zal hierdoor gedurende het jaar kouder kunnen worden en ook natter, vanwege het ontbreken van droging aan de binnenzijde. In tegenstelling tot een lichte constructie ($< 0,3$ m baksteen) is het effect hier echter beperkt. Het berekende verschil van de buitenoppervlaktetemperatuur tussen de ongeïsoleerde (huidige) buitengevel en na-geïsoleerde buitengevel is beperkt en kleiner dan 1°C . Dit is het gevolg van de massieve buitenwanden, die tot $0,7$ m dik zijn. Hoewel het berekende verschil in eerste instantie beperkt lijkt, is weldegelijk een effect te verwachten op de droogsnelheid en het vorst risico, waardoor aanbevolen wordt terughoudend te zijn met het aanbrengen van isolatiemateriaal. Het risico op vorstschade is in grote mate afhankelijk van de vorstgevoeligheid van de toegepaste baksteen [ref. 9]. De vorstgevoeligheid kan bepaald worden middels een vries-dooi-proef.
- Naast het enigszins toenemen van het risico op vorstschade, kan ook biologische groei (mos, algen) aan de gevel toenemen, doordat de gevel enigszins vochtiger is dan in de ongeïsoleerde toestand. Dit is met name aan de noordzijde het geval, door het ontbreken van bezonning.
- Simulatieresultaten tonen dat het plaatsen van thermische isolatie ter plaatse van de zoldervloer een gunstig effect heeft op het energiegebruik en het aantal temperatuuroverschrijdingsuren in de vertrekken op de 2^{de} verdieping. Door deze isolatie worden het warmteverlies in de winter en de warmtewinst in de zomer beperkt. Door deze maatregel is echter te verwachten dat het klimaat op zolder enigszins verandert. In de winter zijn bijvoorbeeld lagere temperaturen te verwachten, mogelijk tot onder het vriespunt. Dit is zeker het geval als de nu aanwezige klimaatapparatuur toekomstig (deels) vervangen wordt door nieuwe beter geïsoleerde apparatuur. De invloed op het behoud van de monumentale zolderconstructie lijkt door deze maatregel vooralsnog niet in het geding, als de zolder voldoende geventileerd blijft.

Als na-isolatie van de buitengevel toch overwogen wordt, dan komt hiervoor in eerste instantie een capillair en vochtvereffenend materiaal in aanmerking, met een beperkte dikte (< 5 cm). Mocht condens rond balkkoppen optreden, dan is een dergelijk isolatiemateriaal in staat het vocht af te voeren. Te denken valt hierbij aan een materiaal als Ytong Multipor of Calsitherm. Hierbij is het essentieel ruimten met een verhoogde vochtbelasting mechanisch te ventileren. Dit geldt ook voor het aanbrengen van thermische isolatie ter plaatse van de zoldervloer.

6.4 Praktische aanbevelingen

- Geadviseerd wordt terughoudend te zijn met isolatiemaatregelen ter plaatse van de gevel. Dit in verband met het vergroten van het risico op vochtschade, vorstschade en biologische groei, met name aan de noordgevel.
- Aanbevolen wordt isolerende beglazing toe te passen. Hierdoor is een forse energiebesparing mogelijk en zal gedurende het stookseizoen de gemiddelde stralingstemperatuur toenemen. Het thermisch comfort in de vertrekken zal hierdoor toenemen. Aan de zonbelaste gevels dient deze van een zonwerende coating voorzien te zijn, of dient een adequate buitenzonwering toegepast te worden.
- Indien toch overwogen wordt de gevel thermisch te isoleren, wordt eerst aanbevolen nader onderzoek te verrichten naar de vorstgevoeligheid van de toegepaste gevelsteen. TNO is in staat een dergelijk onderzoek uit te voeren.
- Het thermisch isoleren van de zoldervloer heeft volgens simulatieresultaten een positief effect op het energiegebruik en thermisch comfort op de 2^{de} verdieping en is wellicht te combineren met het verbeteren

van de brandveiligheid van het kasteel. Het aanbrengen van isolatie ter plaatse van de zoldervloer lijkt vooralsnog niet bezwaarlijk, als een vochtvereffenend materiaal toegepast wordt met een beperkte dikte (<5 cm).

- Voor de ruimten waar een zware vochtbelasting te verwachten is, zoals de doucheruimten, wordt aanbevolen een dampdichte doos-in-doosconstructie toe te passen, waarbij het luchtvolume mechanisch wordt geventileerd.

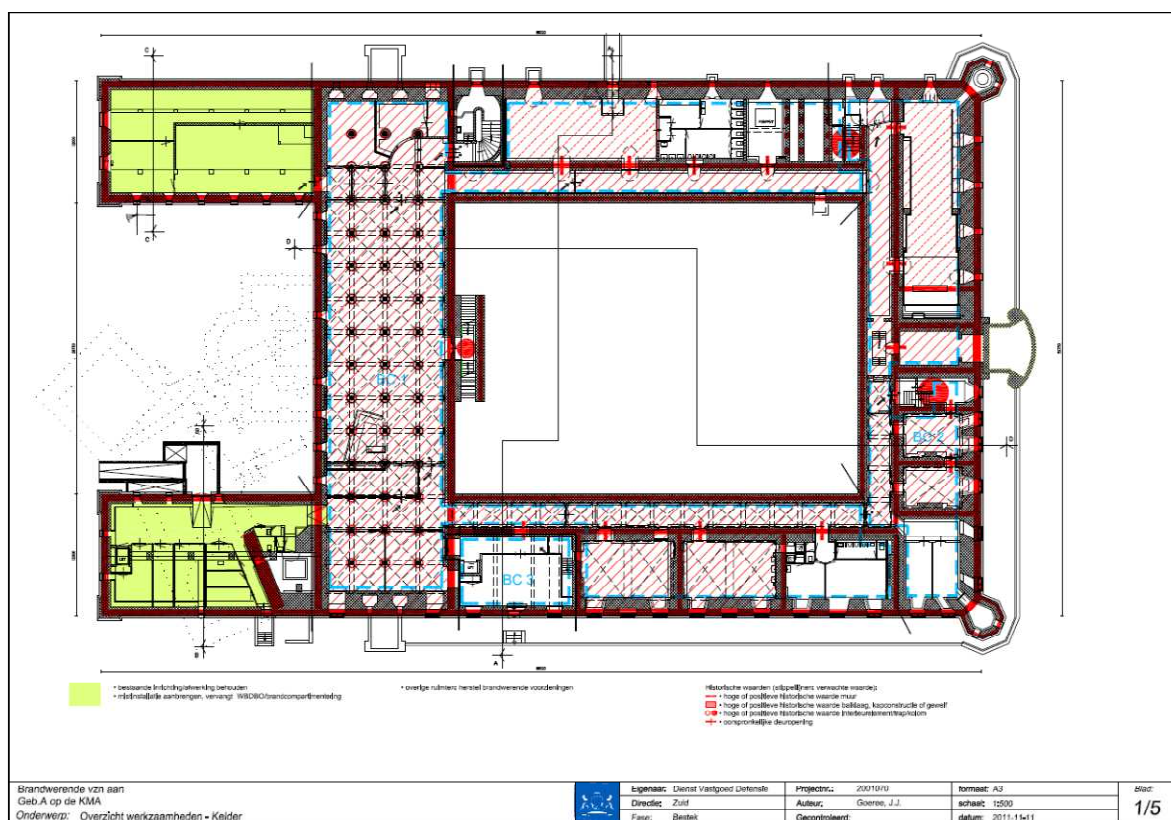
Ten tijde van het opstellen van deze rapportage zijn nog geen plannen ter beoordeling ingediend met betrekking tot de klimaatinstallatie. De volgende aanbevelingen kunnen echter gedaan worden:

- Door tijdens het ontwerp van het verwarmingssysteem rekening te houden met een verlaagd temperatuurtraject van het cv-water, bijvoorbeeld max. 60°C aanvoer en 40°C retour, is een forse energiebesparing te verwachten. Hoogrendementsketels (en ook warmtepompen) kunnen dan met een hoog rendement functioneren.
- Door de vertrekken mechanisch te ventileren met warmteterugwinning, is een energiebesparing te verwachten.
- Door de warmteopwekking (gedeeltelijk) onder te brengen in het kasteel, zijn warmte- en drukverliezen ter plaatse van de transportleidingen te verkleinen.
- Door een hoogwaardig gebouwbeheersysteem toe te passen, is inzicht in het gebruik van de installatie te verbeteren, waardoor een energiebesparing mogelijk is.

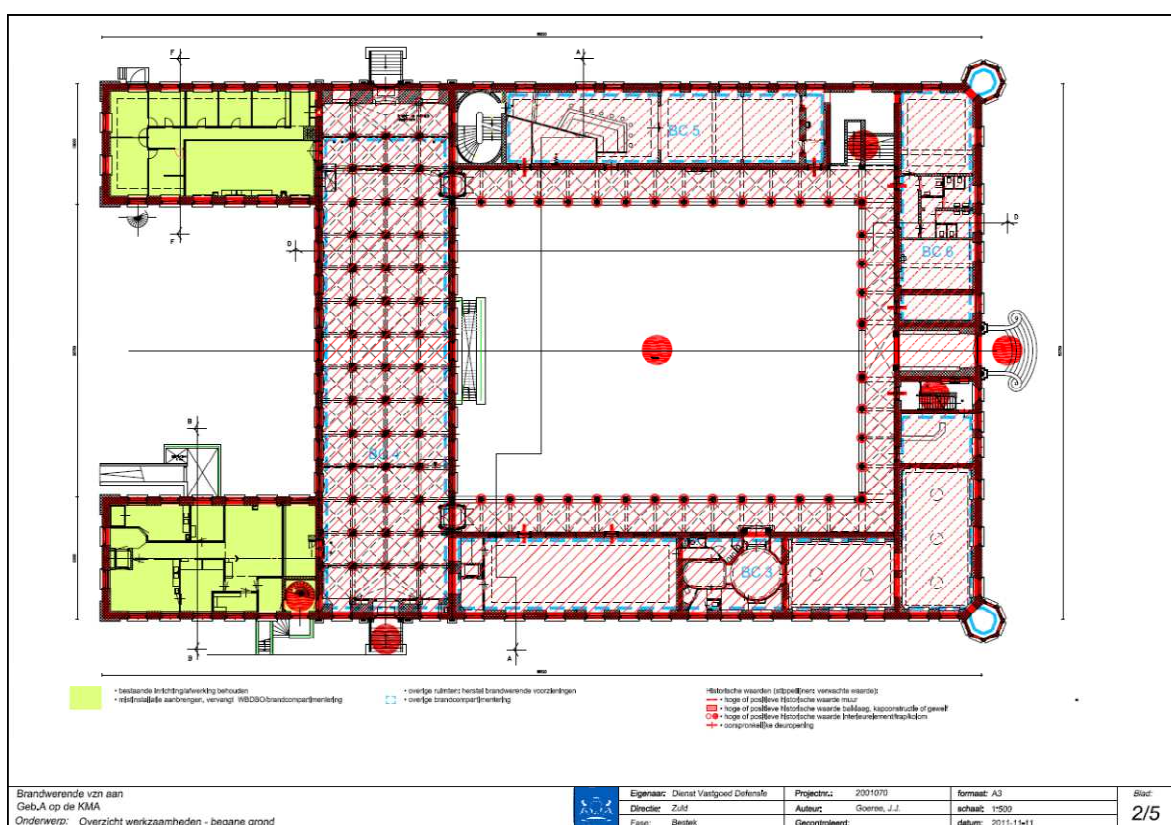
Referenties

1. Oldenmenger, A.G. (2013) *Rapportage bouwhistorisch onderzoek Kasteel van Breda*, BAAC bv, Onderzoeken adviesbureau voor Bouwhistorie, Archeologie, Architectuur en Cultuurhistorie, projectnummer B-13.0008, ongeredigeerd conceptrapport d.d. 2 september 2013.
2. RCE (2013) *Online monumentenregister*, [Monumentnummer 10235](#), geraadpleegd op 30 juli 2013.
3. NEN (2010) *NPR 1090 Ventilatie van schoolgebouwen*, Nederlands centrum van normalisatie, Delft.
4. Rgd (1999) *Bouwfysische kwaliteit Rijkshuisvesting*, Rijksgebouwendienst Directie Ontwerp & Techniek, Den Haag.
5. Wit, M.H. de (2006) *HAMBASE, Heat, Air and Moisture Model for Building and Systems Evaluation*, Technische Universiteit Eindhoven, Unit BPS, ISBN 90-6814-601-7.
6. MathWorks, The (2006) *Simulink, Simulation and Model-Based Design*, version 6, Natick, Massachusetts, USA.
7. Künzle H.M., Schmidt T. & Holm A. (2006) *WUFI Pro 4.1: Programm zur instationären berechnung des ein-dimensionalen Wärme und Feuchtetransports in Bauteilen*, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen .
8. WTA (2004) *WTA-Guideline 6-2-01/E 2004, Simulation of heat and moisture transfer*, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag.
9. Hayen, R. (2008) *Bouwschade – Vorstschade*, Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB) en Wolters Kluwer Belgium NV, Mechelen.
10. Goerree, J.J. (2011) *Plattegronden overzicht werkzaamheden*, Dienst Vastgoed Defensie, Directie Zuid, Projectnummer 2001070, bladnummers 1 t/m 5 d.d. 11 november 2011.

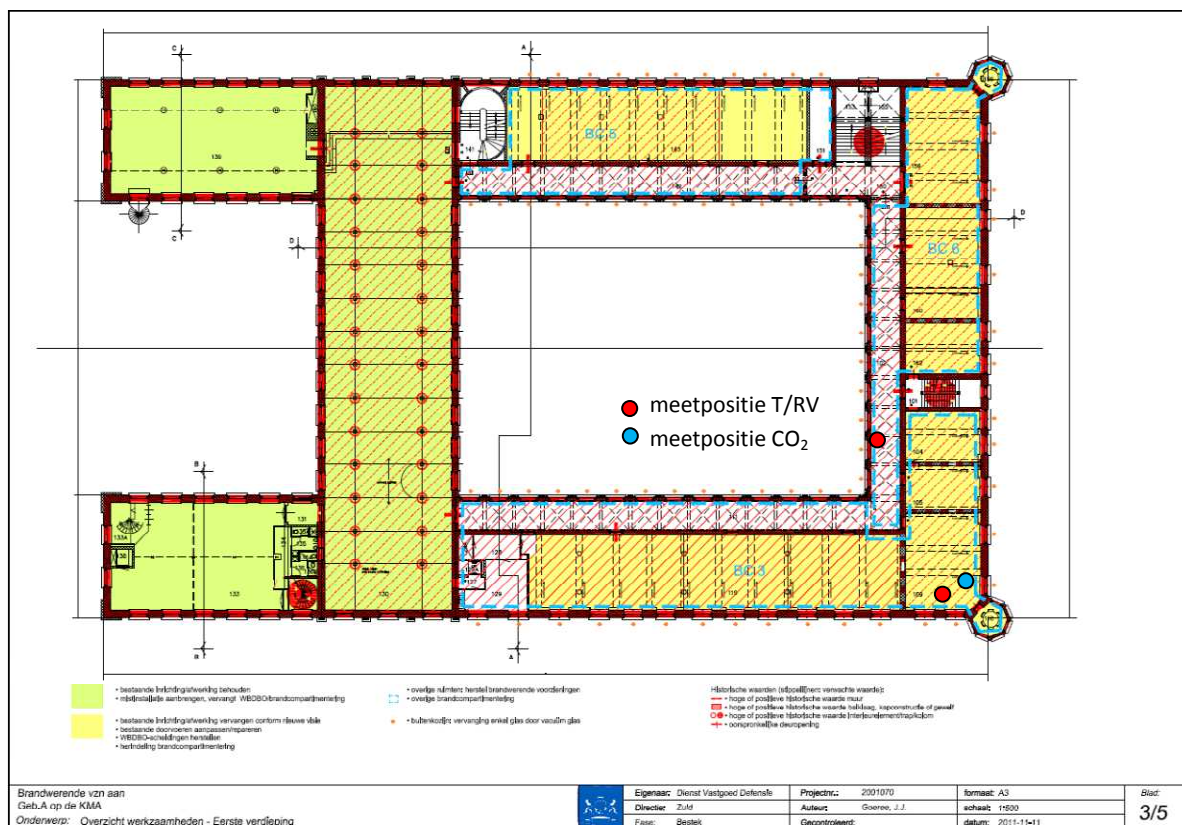
BIJLAGE 1 Bouwkundige plattegronden



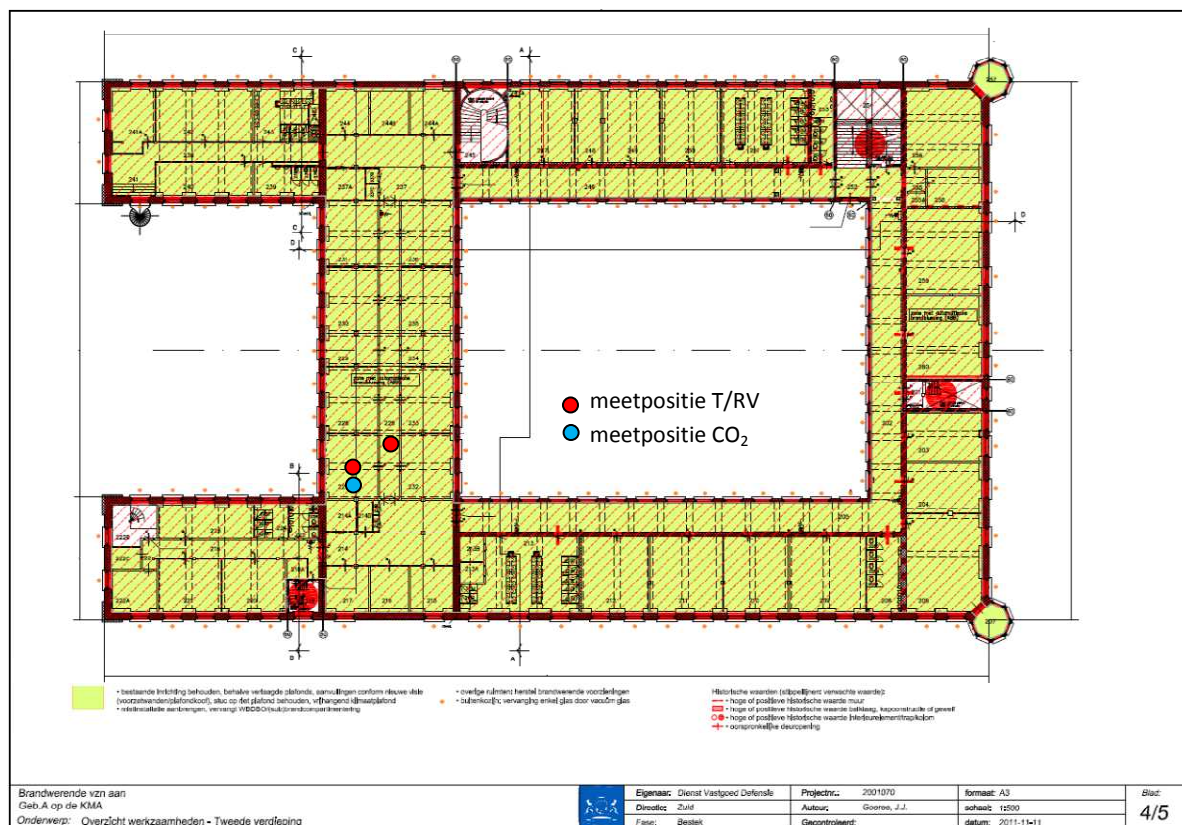
Figuur 14 Plattegrond kelderdieping [ref. 10]



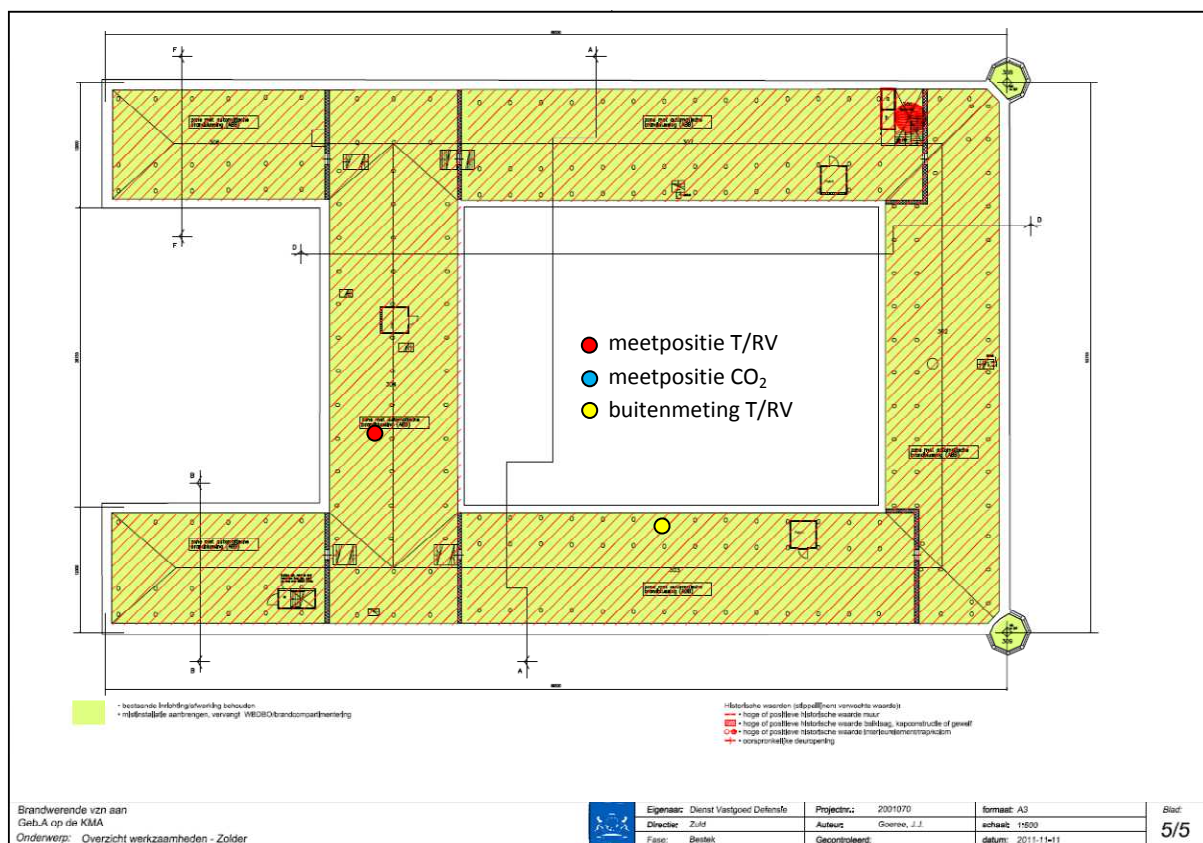
Figuur 15 Plattegrond begane grond [ref. 10]



Figuur 16 Plattegrond eerste verdieping [ref. 10]



Figuur 17 Plattegrond tweede verdieping [ref. 10]



Figuur 18 Plattegrond zolderverdieping [ref. 10]

BIJLAGE 2 Specificaties van de sensoren

SHT1x / SHT7x Relative Humidity & Temperature Sensor System

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

1 Sensor Performance Specifications

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Humidity					
Resolution ⁽¹⁾		0.5	0.03	0.03	%RH
		8	12	12 ⁽²⁾	bit
Repeatability			±0.1		%RH
Accuracy ⁽³⁾	linearized	see figure 1			
Uncertainty					
Interchangeability		Fully interchangeable			
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Range		0		100	%RH
Response time	1/e (63%) at 25°C, 1m/s air	6	8	10	s
Hysteresis			±1		%RH
Long term stability	typical		< 0.5		%RH/yr
Temperature					
Resolution ⁽¹⁾		0.04	0.01	0.01	°C
		0.07	0.02	0.02	°F
		12	14	14	bit
Repeatability			±0.1		°C
			±0.2		°F
Accuracy ⁽³⁾		see figure 1			
Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time	1/e (63%)	5		30	s

Table 1 Sensor Performance Specifications

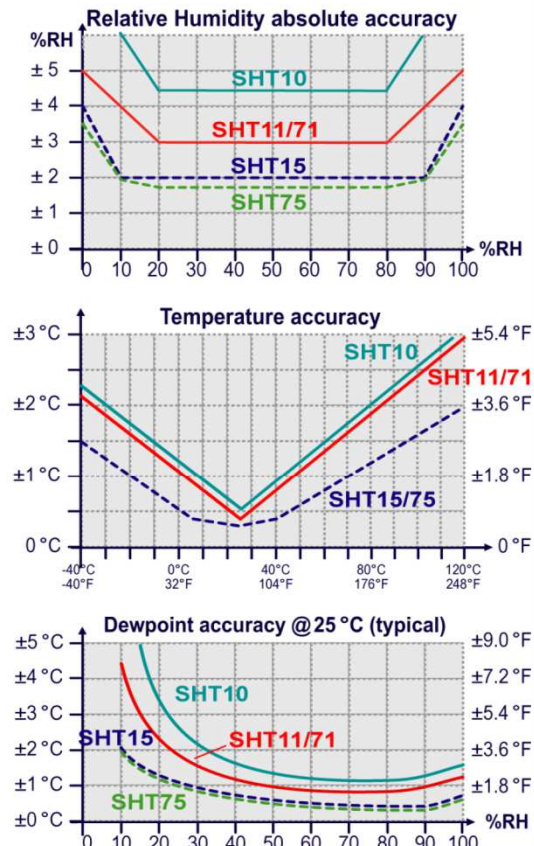


Figure 1 Rel. Humidity, Temperature and Dewpoint accuracies

2 Interface Specifications

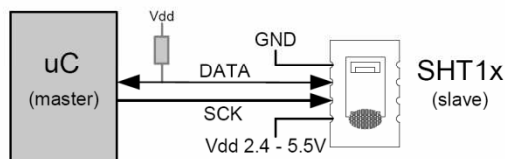


Figure 2 Typical application circuit

2.1 Power Pins

The SHTxx requires a voltage supply between 2.4 and 5.5 V. **After powerup the device needs 11ms to reach its "sleep" state. No commands should be sent before that time.**

Power supply pins (VDD, GND) may be decoupled with a 100 nF capacitor.

2.2 Serial Interface (Bidirectional 2-wire)

The serial interface of the SHTxx is optimized for sensor readout and power consumption and is not compatible with

I²C interfaces, see FAQ for details.

2.2.1 Serial clock input (SCK)

The SCK is used to synchronize the communication between a microcontroller and the SHTxx. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.2.2 Serial data (DATA)

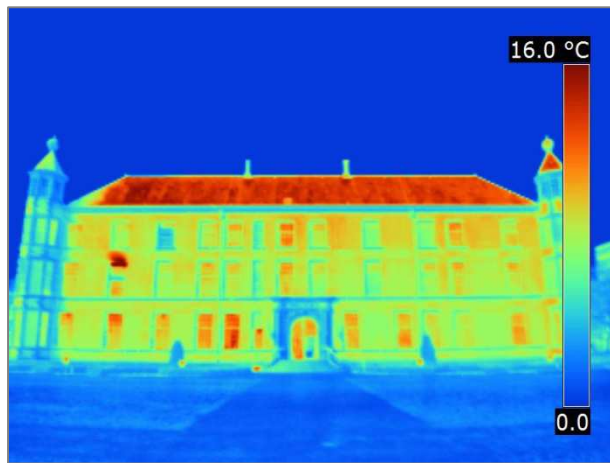
The DATA tristate pin is used to transfer data in and out of the device. DATA **changes after the falling edge** and is **valid on the rising edge** of the serial clock SCK. During transmission the DATA line must remain stable while SCK is high. To avoid signal contention the microcontroller should only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10 kΩ) is required to pull the signal high. (See Figure 2) Pull-up resistors are often included in I/O circuits of microcontrollers.

See Table 5 for detailed IO characteristics

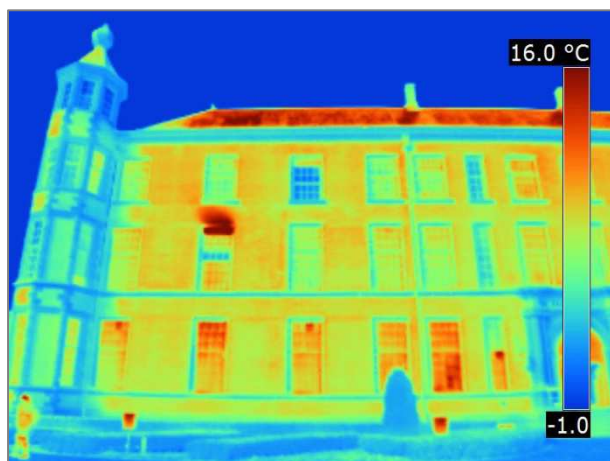
⁽¹⁾ The default measurement resolution of 14bit (temp.) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8 bit through the status register. ⁽²⁾ Effective number of bits is 11bit.
⁽³⁾ Each SHTxx is tested to be fully within accuracy specifications at 25°C (77°F) and 3.3V.

BIJLAGE 3 Infraroodopnamen

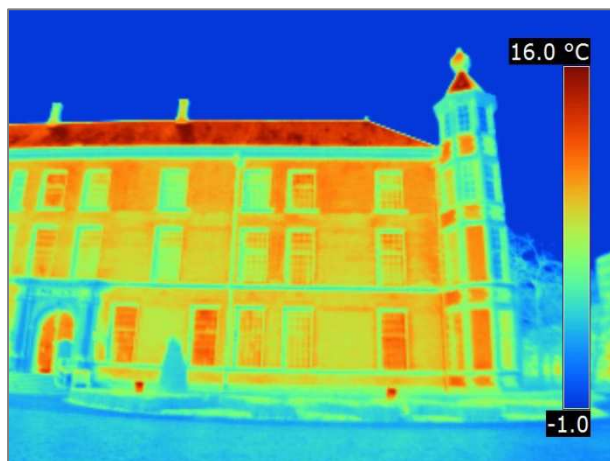
Let op: de schaalverdeling kan verschillen per infraroodopname en de getoonde fotografische opnamen zijn op een ander tijdstip gemaakt dan de infraroodopnamen.



Figuur 19 Aanzicht van de oostvleugel; Deze afbeelding dient ter indicatie: de gevel heeft kortstondig bezonning ontvangen waardoor de getoonde oppervlaktetemperaturen een vertekend beeld geven



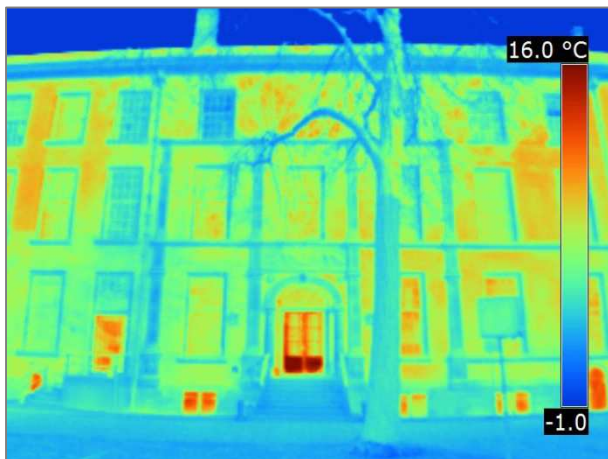
Figuur 20 Aanzicht van de linker zijde van de oostvleugel; Deze afbeelding dient ter indicatie: de gevel heeft kortstondig bezonning ontvangen waardoor de getoonde oppervlaktetemperaturen een vertekend beeld geven



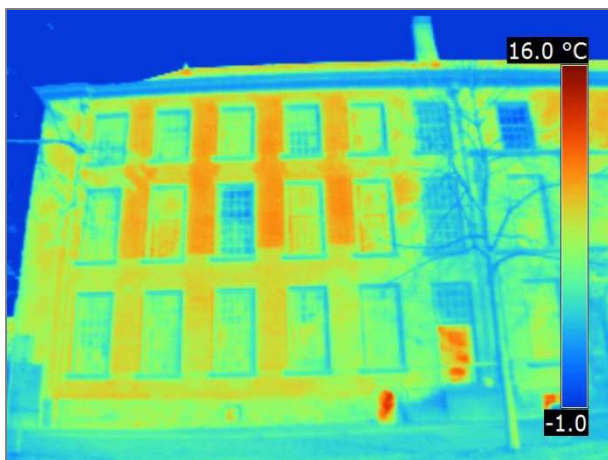
Figuur 21 Aanzicht van de rechter zijde van de oostvleugel; Deze afbeelding dient ter indicatie: de gevel heeft kortstondig bezonning ontvangen waardoor de getoonde oppervlaktetemperaturen een vertekend beeld geven



Figuur 22 Aanzicht van de rechter zijde van de zuidvleugel; Deze afbeelding dient ter indicatie: de gevel heeft kortstondig bezonning ontvangen waardoor de getoonde oppervlaktetemperaturen een vertekend beeld geven



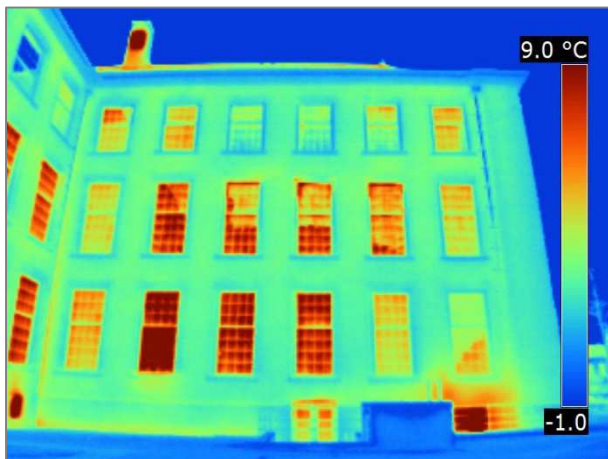
Figuur 23 Aanzicht van het midden van de zuidvleugel; Deze afbeelding dient ter indicatie: de gevel heeft kortstondig bezonning ontvangen waardoor de getoonde oppervlaktetemperaturen een vertekend beeld geven



Figuur 24 Aanzicht van de linker zijde van de zuidvleugel; Deze afbeelding dient ter indicatie: de gevel heeft kortstondig bezonning ontvangen waardoor de getoonde oppervlaktetemperaturen een vertekend beeld geven



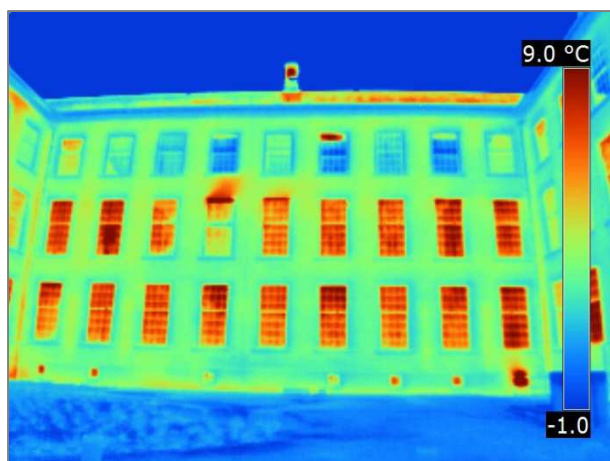
Figuur 25 Aanzicht van de rechter zijde van de westvleugel



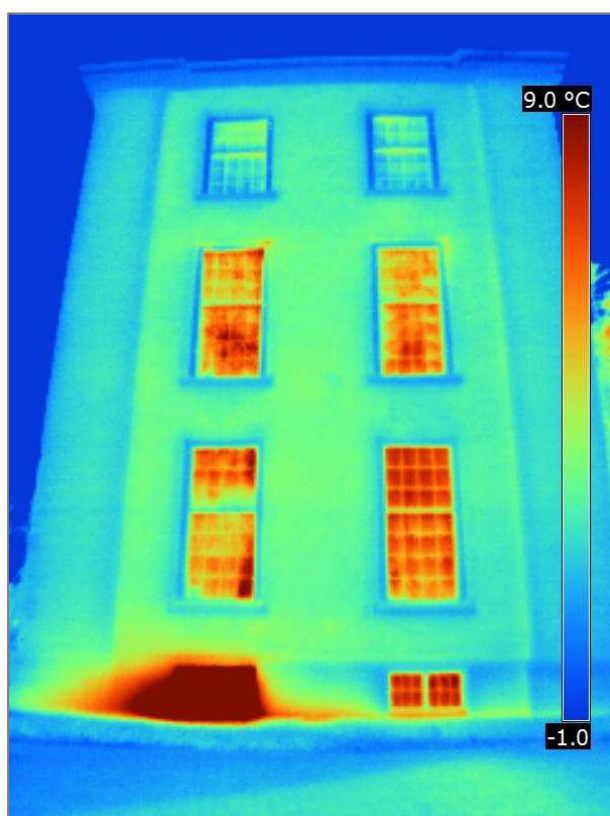
Figuur 26 Aanzicht van de noordgevel van de aanbouw van de westvleugel



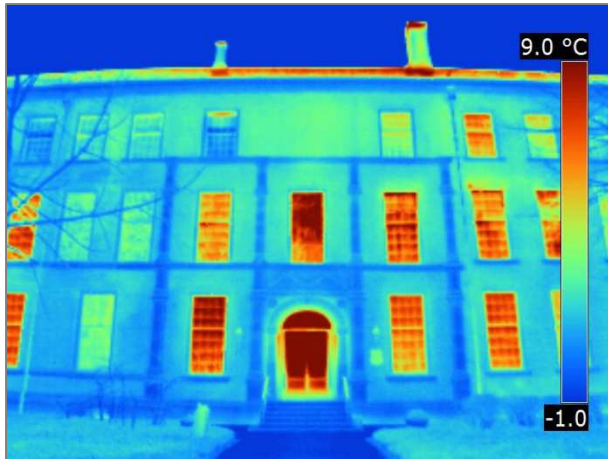
Figuur 27 Aanzicht van condensors ter plaatse van de noordzijde van de aanbouw van de westvleugel



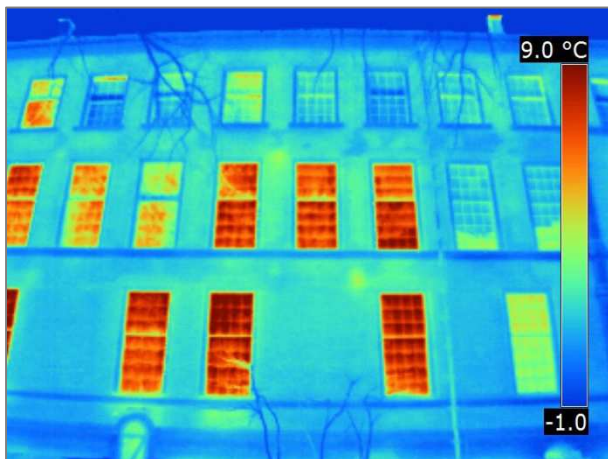
Figuur 28 Aanzicht van het middendeel van de westvleugel



Figuur 29 Aanzicht van het linker deel van de westvleugel



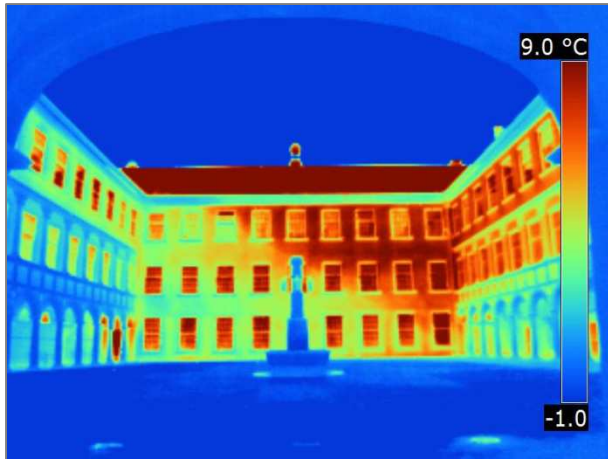
Figuur 30 Aanzicht van het middendeel van de noordvleugel



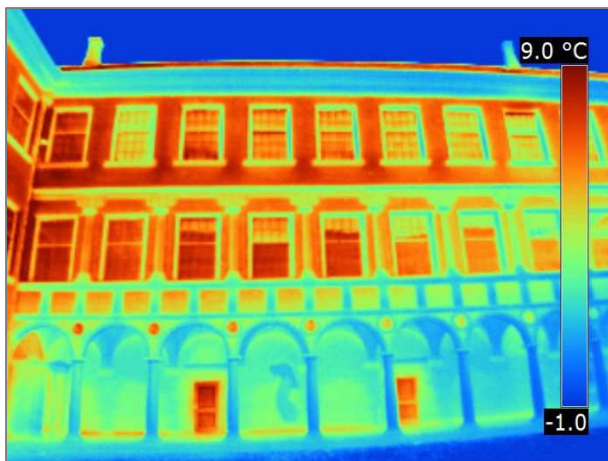
Figuur 31 Aanzicht van het linkerdeel van de noordvleugel



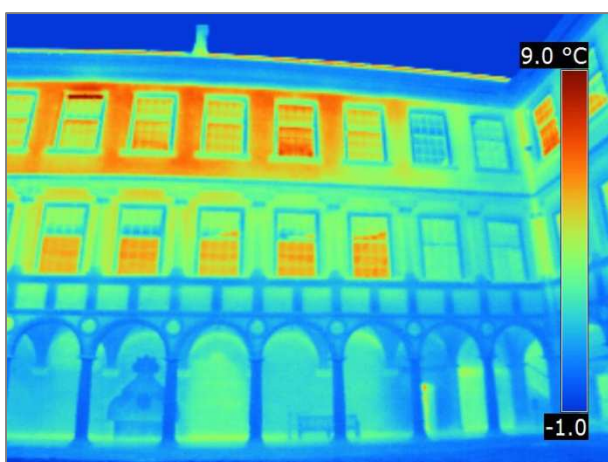
Figuur 32 Aanzicht van het linkerdeel van de noordvleugel



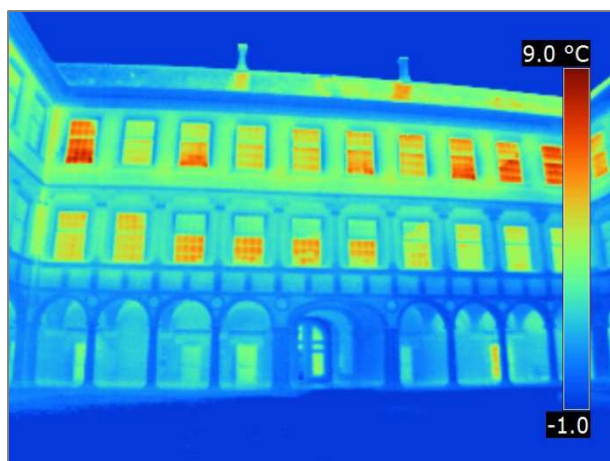
Figuur 33 Aanzicht van de westvleugel binnenplaatszijde



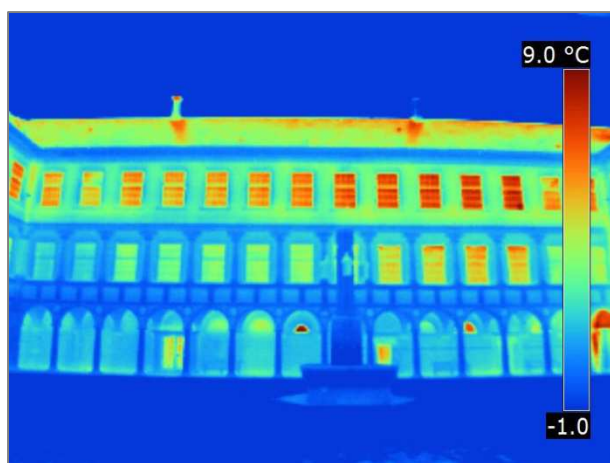
Figuur 34 Aanzicht van de noordvleugel binnenplaatszijde



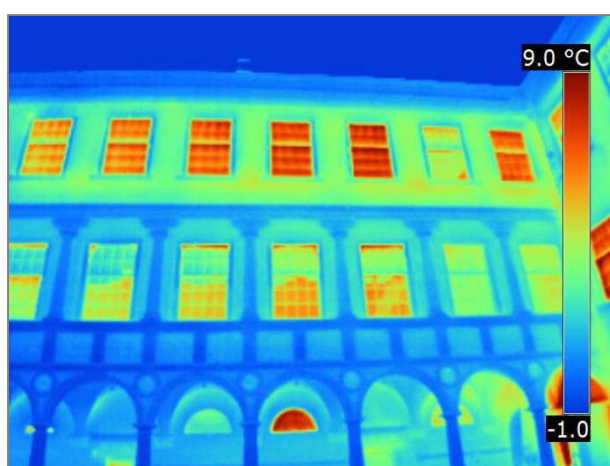
Figuur 35 Aanzicht van de noordvleugel binnenplaatszijde



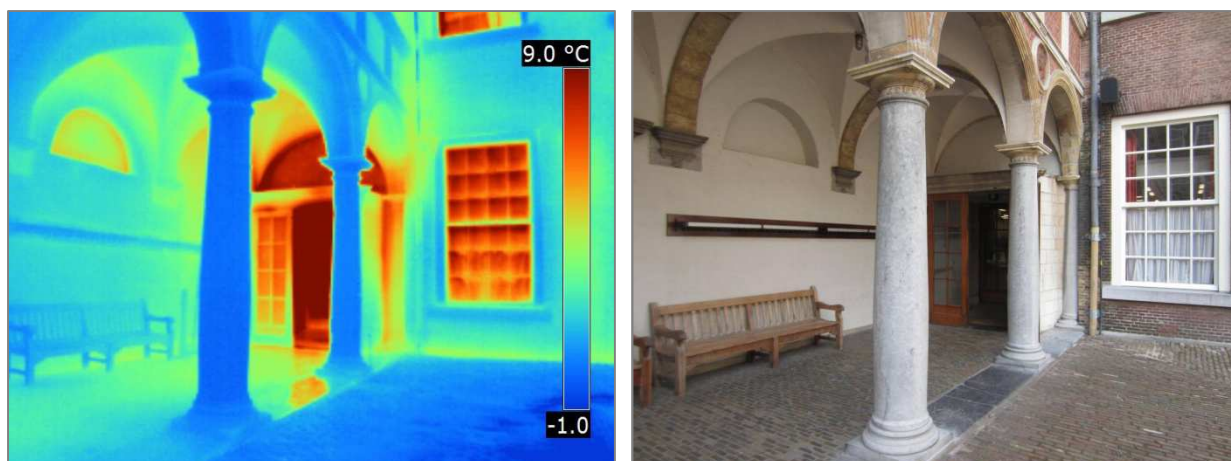
Figuur 36 Aanzicht van de oostvleugel binnenplaatszijde



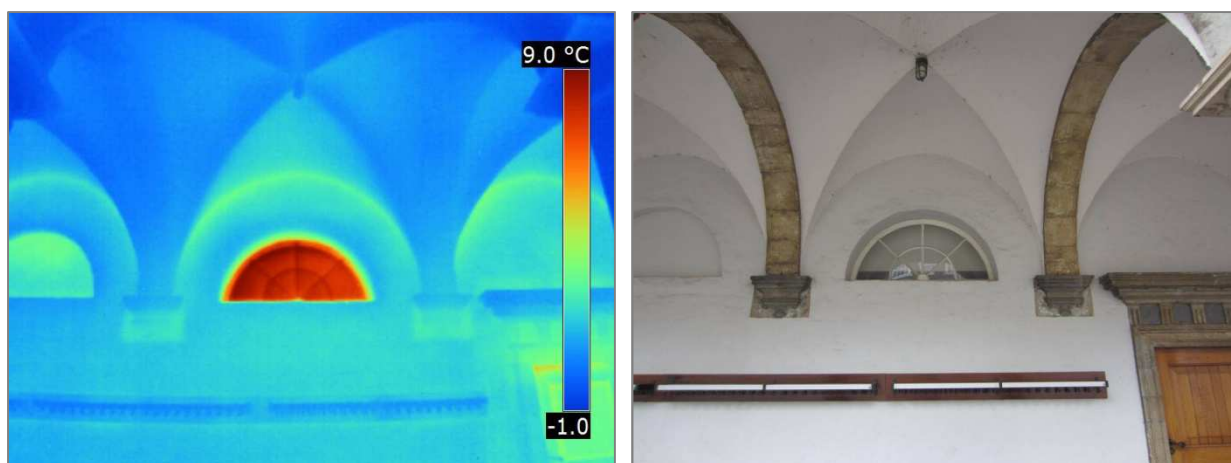
Figuur 37 Aanzicht van de zuidvleugel binnenplaatszijde



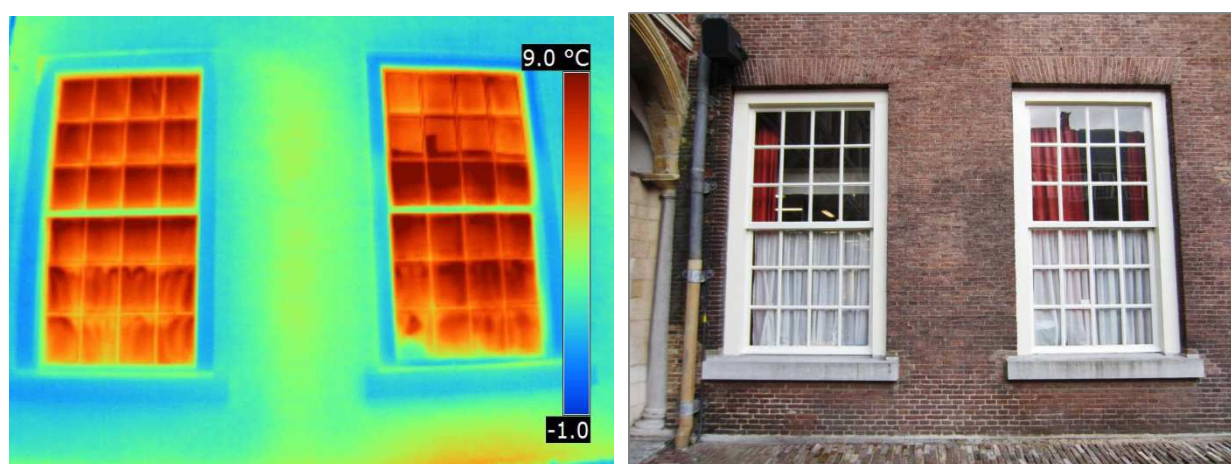
Figuur 38 Aanzicht van de noordvleugel binnenplaatszijde



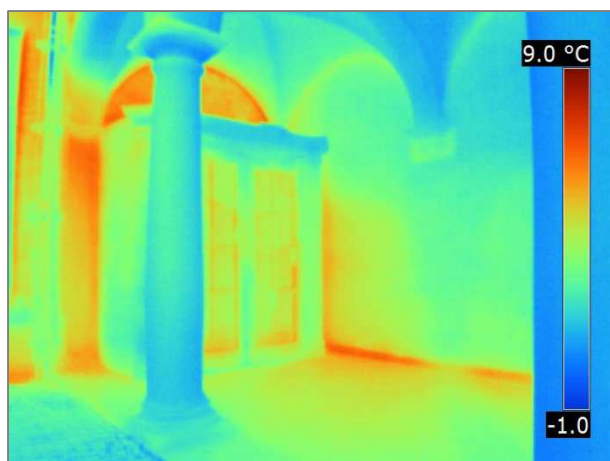
Figuur 39 Aanzicht van de entree in de hoek van de zuid- en westvleugel binnenplaatszijde



Figuur 40 Aanzicht van een boogvenster ter plaatse van de zuidvleugel binnenplaatszijde



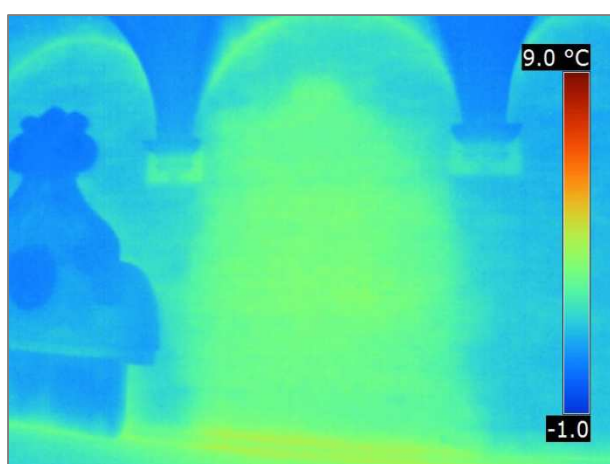
Figuur 41 Aanzicht van twee vensters ter plaatse van de westvleugel binnenplaatszijde



Figuur 42 Aanzicht van de entree in de hoek van de west- en noordgevel



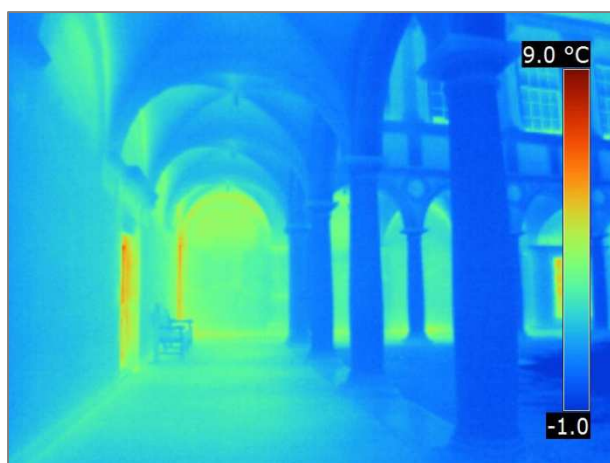
Figuur 43 Aanzicht van de galerij ter plaatse van de noordvleugel



Figuur 44 Aanzicht van de wand van de noordvleugel



Figuur 45 Aanzicht van de wand van de noordvleugel



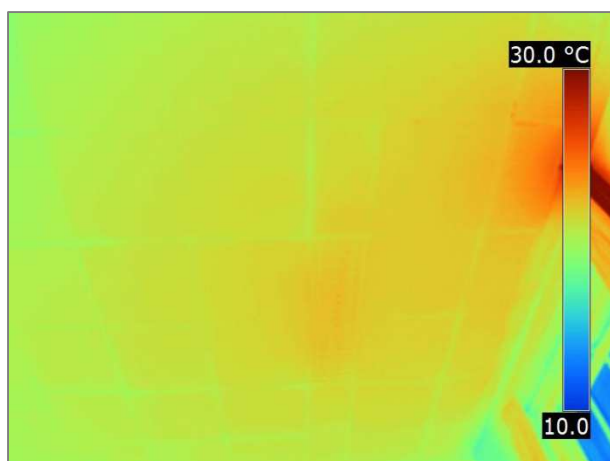
Figuur 46 Aanzicht van de galerij ter plaatse van de noordvleugel



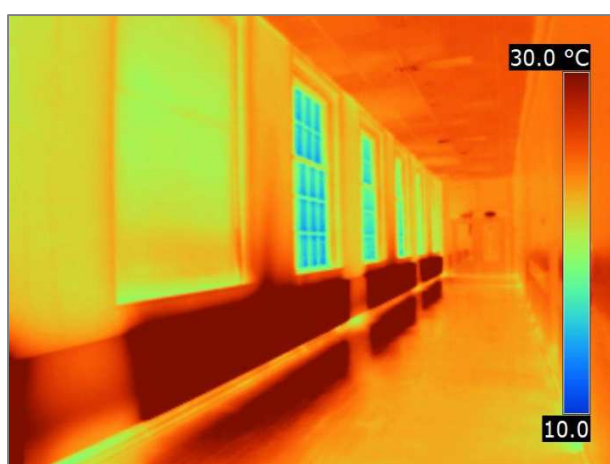
Figuur 47 Aanzicht van de buitengevel in legeringsvertrek 228



Figuur 48 Aanzicht van de buitengevel in legeringsvertrek 228



Figuur 49 Aanzicht van het plafond in legeringsvertrek 228



Figuur 50 Aanzicht van de buitengevel ter plaatse van de galerij in de zuidvleugel 2^{de} verdieping



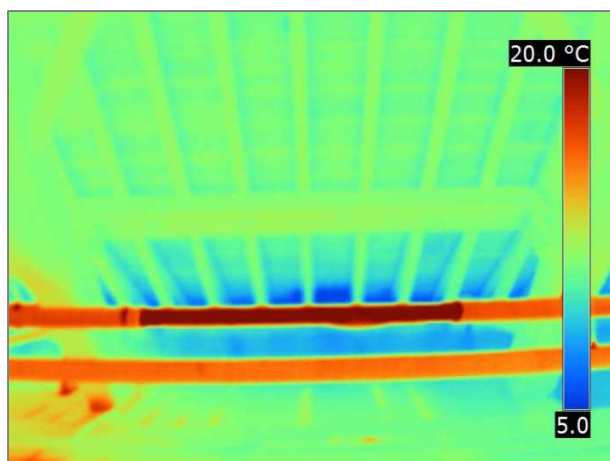
Figuur 51 Aanzicht van de buitengevel ter plaatse van de galerij in de zuidvleugel 2^{de} verdieping



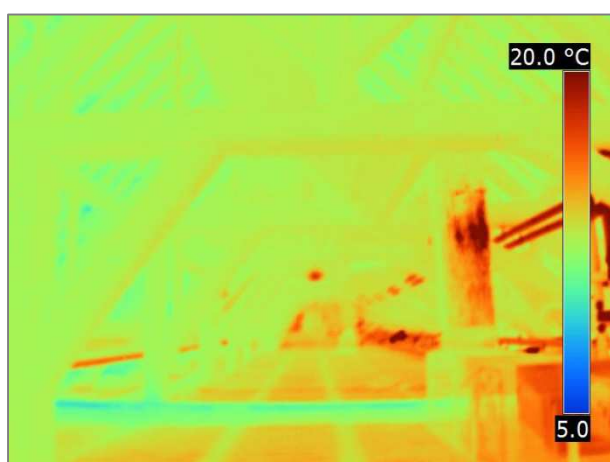
Figuur 52 Aanzicht van de binnengevel met deur ter plaatse van de galerij in de zuidvleugel 2^{de} verdieping



Figuur 53 Aanzicht van de buitengevel ter plaatse van de galerij in de zuidvleugel 2^{de} verdieping



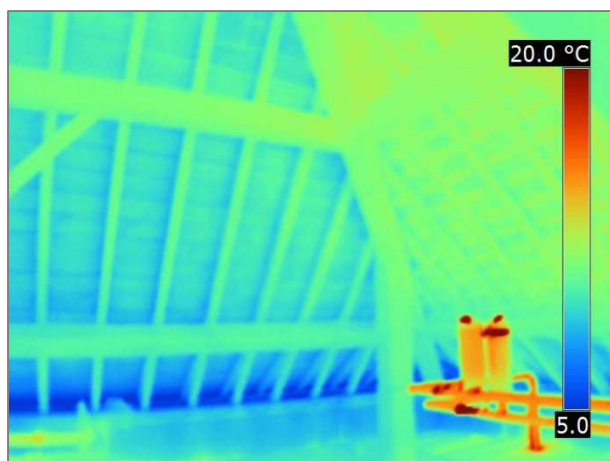
Figuur 54 Aanzicht van het noordelijke dakvlak in de noordvleugel op de zolderverdieping



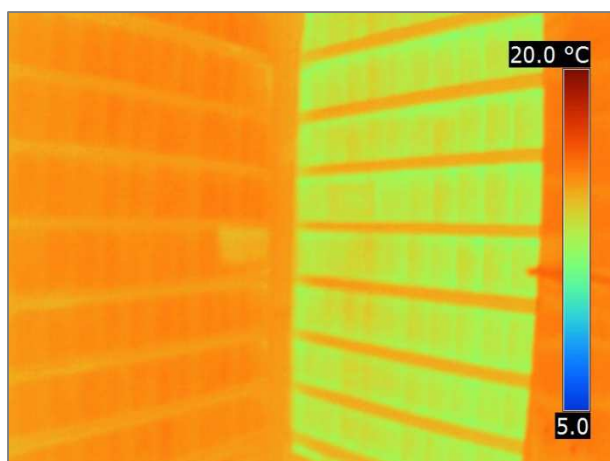
Figuur 55 Aanzicht van de zolderverdieping in de noordvleugel



Figuur 56 Aanzicht van de zolderverdieping in de westvleugel



Figuur 57 Aanzicht van de zolderverdieping in de westvleugel (uitbouw noordzijde)



Figuur 58 Aanzicht van de zolderverdieping in de westvleugel



Figuur 59 Aanzicht van de zolderverdieping in de zuidvleugel

BIJLAGE 4 Invoer HAMBASE basismodel

```
% -----
%               HAMBASE
%
% HEAT And Moisture Building And Systems Evaluation
% -----
% Reference_Building0909 Kasteel van Breda, EN 1308 Basismodel v2
% (geometrie zone1 aangepast volgens ACAD-tekeningen)

% -----
% PART 2 : THE BUILDING
% -----

% ZONES [-] & VOLUMES [m3]
% FORMAT BAS.Vol{zoneNo}=volume (m3);
BAS.Vol{1}= 120; % legering 228 westzijde, WAS 90 m2
BAS.Vol{2}= 8000; % zolder

% CONSTRUCTION COMPONENTS DATA
% BAS.Con{conID}=[Ri, d1,matID,... ,dn,matID, Re, ab, eb].
BAS.Con{1} = [0.13, 0.60,238, 0.02,361, 0.04, 0.7, 0.9 ];
BAS.Con{2} = [0.13, 0.01,361, 0.12,238, 0.01, 361, 0.04, 0.7, 0.9 ];
BAS.Con{3} = [0.13, 0.025,363 0.1,1, 0.1, 502, 0.13, 0.5, 0.9 ];
BAS.Con{4} = [0.13, 0.025,363 0.1,1, 0.1, 502, 0.13, 0.5, 0.9 ];
BAS.Con{5} = [0.13, 0.045,502, 0.05,1, 0.02, 202, 0.04, 0.8, 0.9 ];

% Comments
% 1: buitenmuur: baksteen 0.5, stuuklaag
% 2: binnenmuur: stuuklaag,baksteen 0.11 (was 0,5), stuuklaag
% 3: 2de verdiepingsvloer: stucwerk 0.025, lucht 0.1, hout 0.1
% 4: zoldervloer: stucwerk 0.025, lucht 0.1, hout 0.1
% 5: schuin dak: houten dakbeschot, leistenen

% ** GLAZING SYSTEMS DATA**
% FORMAT BAS.Glas{glaID}=[Uglas,CFr,ZTA,ZTAw,CFrw,Uglasw]

BAS.Glas{1}= [5.5, 0.03, 0.7, 0.7, 0.36, 5.5 ];

% Comments
% Glazing 1 Enkel glas (zuidzijde)

% ** ORIENTATIONS **
% FORMAT BAS.Or{orID} = [tilt, azimuth];
%BAS.Or{orID}=[tilt, azimuth];
BAS.Or{1}= [90.0, 170 ];%buitenwand noord
BAS.Or{2}= [90.0, -100];%buitenwand oost
BAS.Or{3}= [90.0, -10 ];%buitenwand zuid
BAS.Or{4}= [90.0, 80 ];%buitenwand west
BAS.Or{5}= [0, 0 ];%vloer/plafond
BAS.Or{6}= [45.0, 170 ];%dak noord
BAS.Or{7}= [45.0, -100];%dak oost
BAS.Or{8}= [45.0, -10 ];%dak zuid
BAS.Or{9}= [45.0, 80 ];%dak west
BAS.Or{10}=[0, 0 ];%dak plat

% I. EXTERNAL WALLS (walltype:-1)
%BAS.wallex{exID}= [zoneNo, surf, conID, orID, bridge]
BAS.wallex{1} = [1, 23, 1, 4, 0]; %buitenwand west
BAS.wallex{2} = [2, 600, 5, 6, 0]; %dak zolder noord
BAS.wallex{3} = [2, 600, 5, 7, 0]; %dak zolder oost
BAS.wallex{4} = [2, 600, 5, 8, 0]; %dak zolder zuid
BAS.wallex{5} = [2, 600, 5, 9, 0]; %dak zolder west

% II. WINDOWS IN EXTERNAL WALLS
%BAS.window{winID}= [exID, surf, glaID, shaID]
BAS.window{1} = [1, 7.8, 1, 0]; %ramen westgevel
```



```

% III. CONSTANT TEMPERATURE WALLS(walltype:0)
%BAS.walli0{i0ID}= [zoneNo, surf, conID, temp, bridge]
BAS.walli0{1}= [2, 2500, 4, 18.5, 0 ]; % vloer zolder

% IV ADIABATIC EXTERNAL WALLS (walltype:-2)
%BAS.wallia{iaID}= [zoneNo,surf, conID]
BAS.wallia{1}= [1, 19, 2 ]; %binnenwand noord
BAS.wallia{2}= [1, 23, 2 ]; %binnenwand oost
BAS.wallia{3}= [1, 19, 2 ]; %binnenwand zuid
BAS.wallia{4}= [1, 33.4, 3 ]; %vloer

% V. INTERNAL WALLS BETWEEN AND IN ZONES (walltype:>=1)
%BAS.wallin{inID}= [zonenr1, zonenr2, surf, conID]
BAS.wallin{1}= [1, 2, 33.4, 4 ]; % tussenvl. 2de verd. / zolder

% **PROFILES**
% proID=1
BAS.Ers{1}=300;
BAS.dayper{1}= [ 0, 8, 22 ];
BAS.vvmin{1}= [ 0.45, 0.6, 0.45];
BAS.vvmax{1}= [ 0.45, 0.6, 0.45];
BAS.Tfc{1}= [ 100, 100, 100 ];
BAS.Qint{1}= [ 0, 0, 0 ];
BAS.Gint{1}= [ 0, 0, 0 ];
BAS.Tsetmin{1}= [ 15, 15, 15 ];
BAS.Tsetmax{1}= [ 20, 20, 20 ];
BAS.RVmin{1}= [ -1, -1, -1 ];
BAS.RVmax{1}= [ 101, 101, 101 ];

%proID=2
BAS.Ers{2}=300;
BAS.dayper{2}= [ 0, 8, 17 ];
BAS.vvmin{2}= [ 0.6, 0.6, 0.6 ];
BAS.vvmax{2}= [ 0.6, 0.6, 0.6 ];
BAS.Tfc{2}= [ 100, 100, 100 ];
BAS.Qint{2}= [ 0, 0, 0 ];
BAS.Gint{2}= [ 0, 0, 0 ];
BAS.Tsetmin{2}= [ -100, -100, -100];
BAS.Tsetmax{2}= [ 100, 100, 100 ];
BAS.RVmin{2}= [ -1, -1, -1 ];
BAS.RVmax{2}= [ 101, 101, 101 ];

% % THE PROFILES OF THE BUILDING
% BAS.weekfun{zoneNo}=[ pnrmon pnrtrue, pnrwed, pnrthu, pnrfri, pnrSAT, pnrSun]
BAS.weekfun{1}= [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1];
BAS.weekfun{2}= [2, 2, 2, 2, 2, 2, 2];

% PART 4 : Heating, cooling, humidification, dehumidification
% FORMAT BAS.Plant{zoneNo}=[heating capacity [W], cooling capacity [W],
% humidification capacity [kg/s],dehumidification capacity [kg/s]];
BAS.Plant{1}=[0,0,0,0];
BAS.Plant{2}=[0,0,0,0];

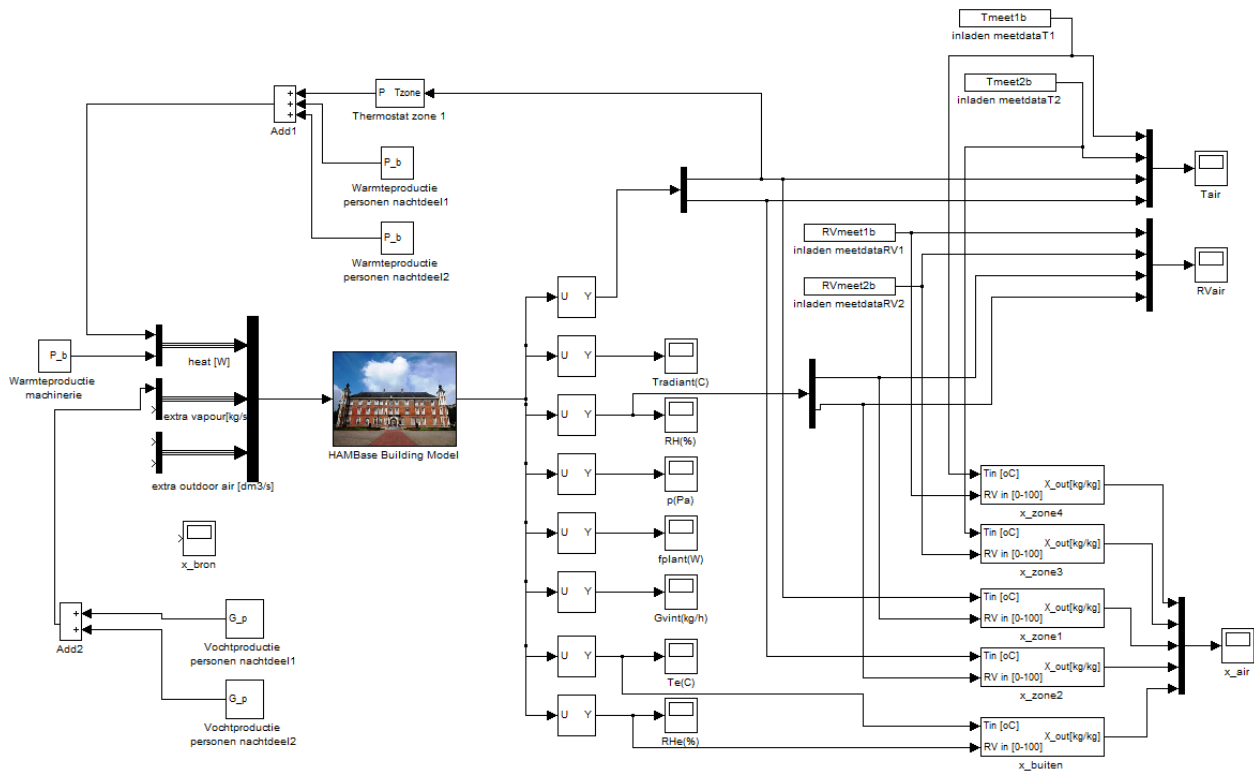
% FORMAT BAS.convfac{zoneNo}=[CFh, CFset, CFint ];
BAS.convfac{1}=[0.01, 1, 0.5 ];
BAS.convfac{2}=[0.01, 1, 0.5 ];

% FORMAT BAS.heatexch{zoneNo}=[etaww, Twws, Twwc, HRUNo];
BAS.heatexch{1}=[0 30];
BAS.heatexch{2}=[0 30];

%***** END OF INPUT*****

```

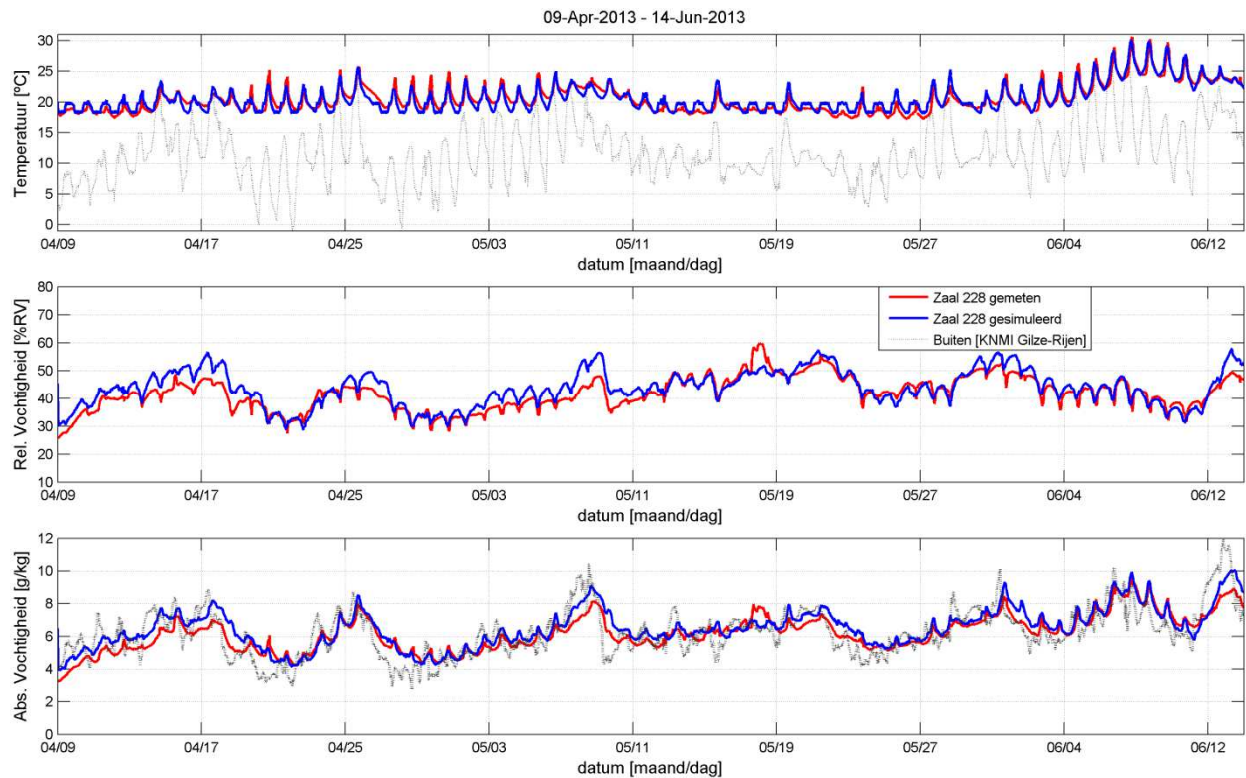
BIJLAGE 5 Opbouw HAMBASE-Simulinkmodel



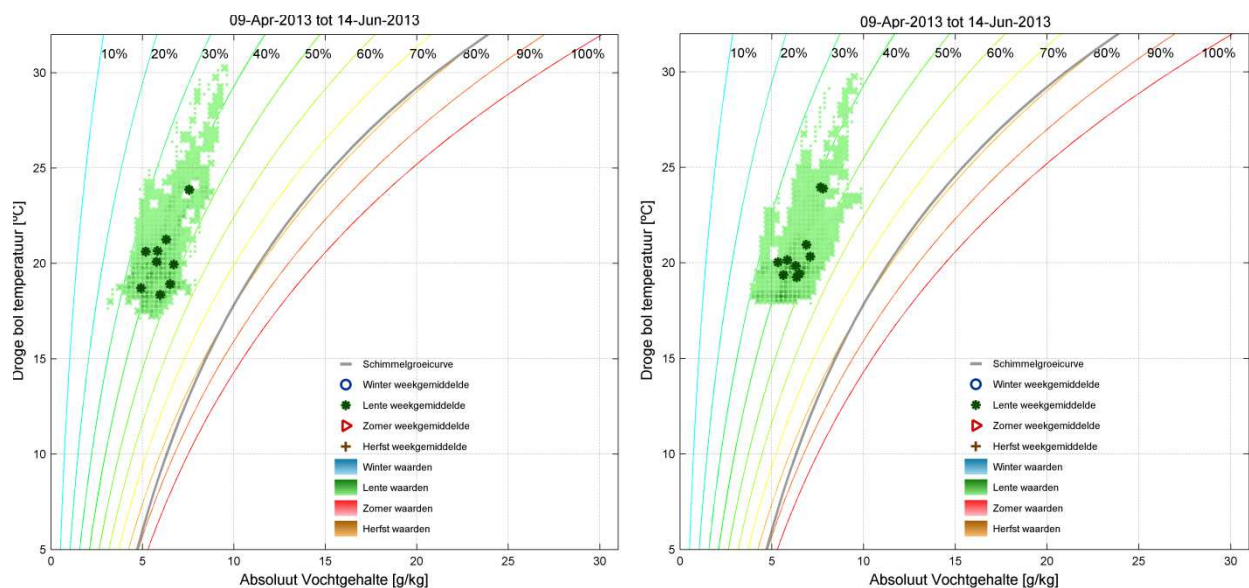
Figuur 60 Afbeelding van het in Simulink opgebouwde basismodel

BIJLAGE 6 Simulatieresultaten

Basismodel: verificatie zone 1

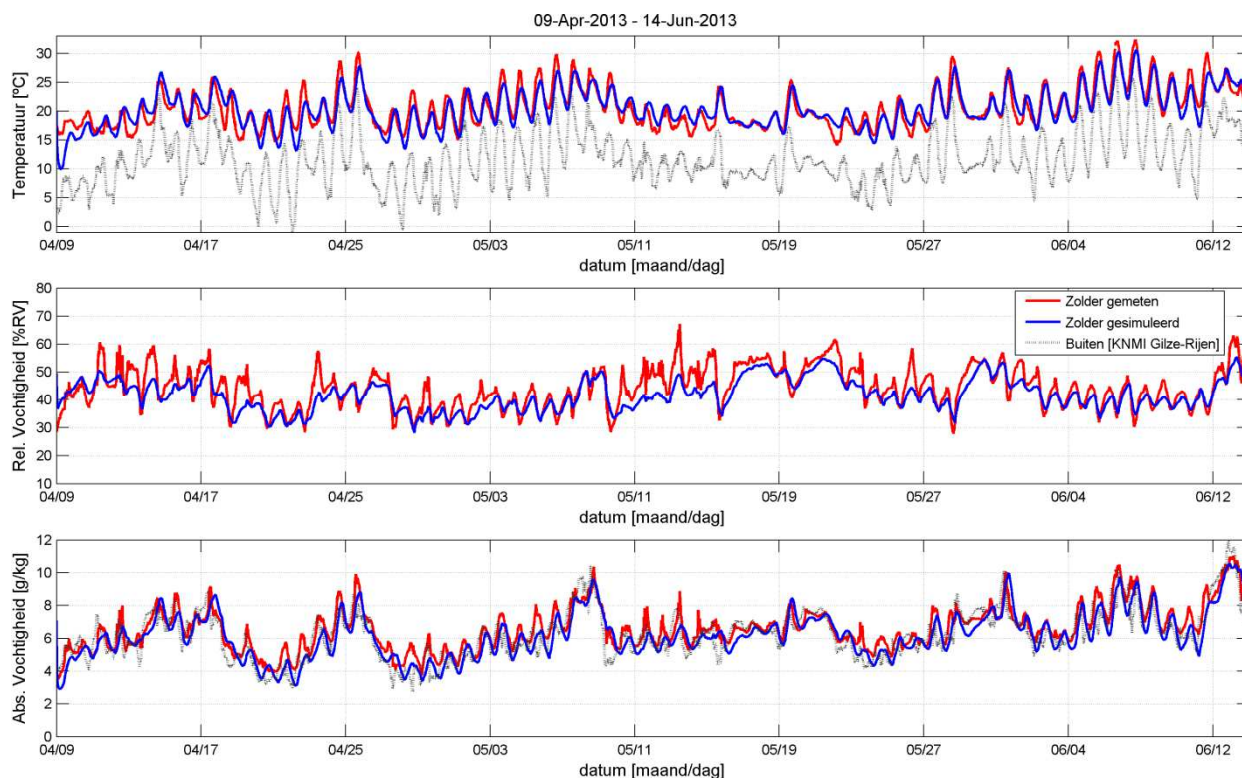


Figuur 61 Vergelijk van de gemeten en gesimuleerde data voor zone 1 van het model (Zaal 228)

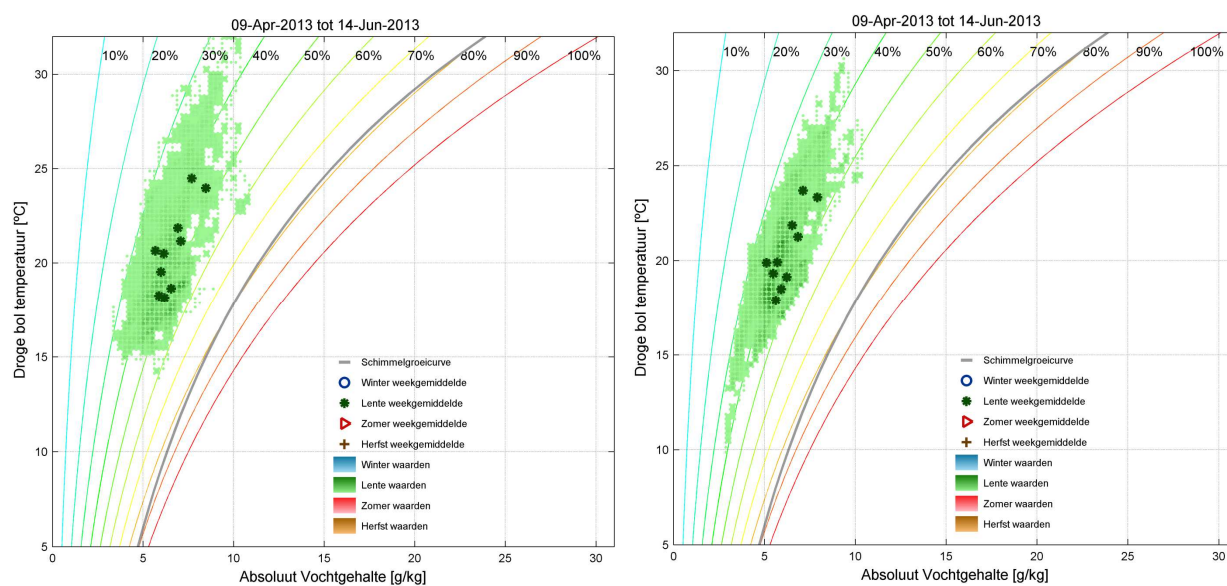


Figuur 62 Vergelijk van de gemeten en gesimuleerde data voor zone 1 van het model in de psychrometrische kaart

Basismodel: verificatie zone 2

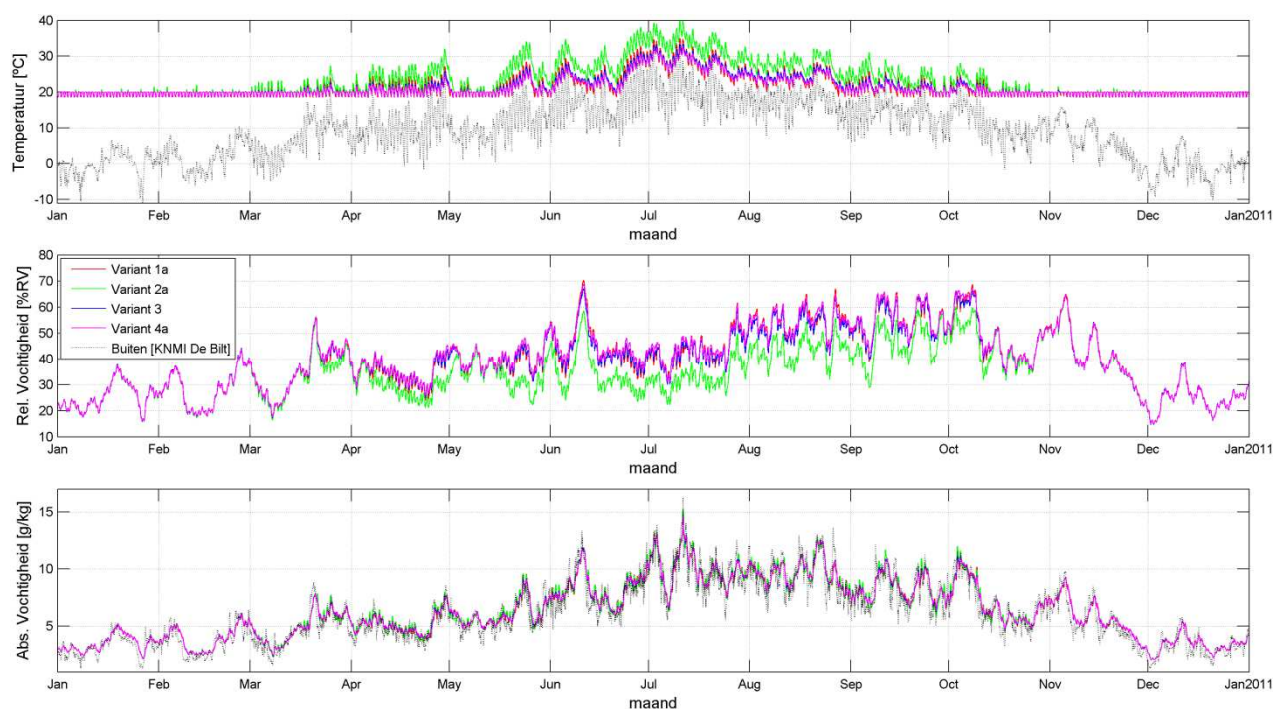


Figuur 63 Vergelijk van de gemeten en gesimuleerde data voor zone 2 (de zolder) van het model



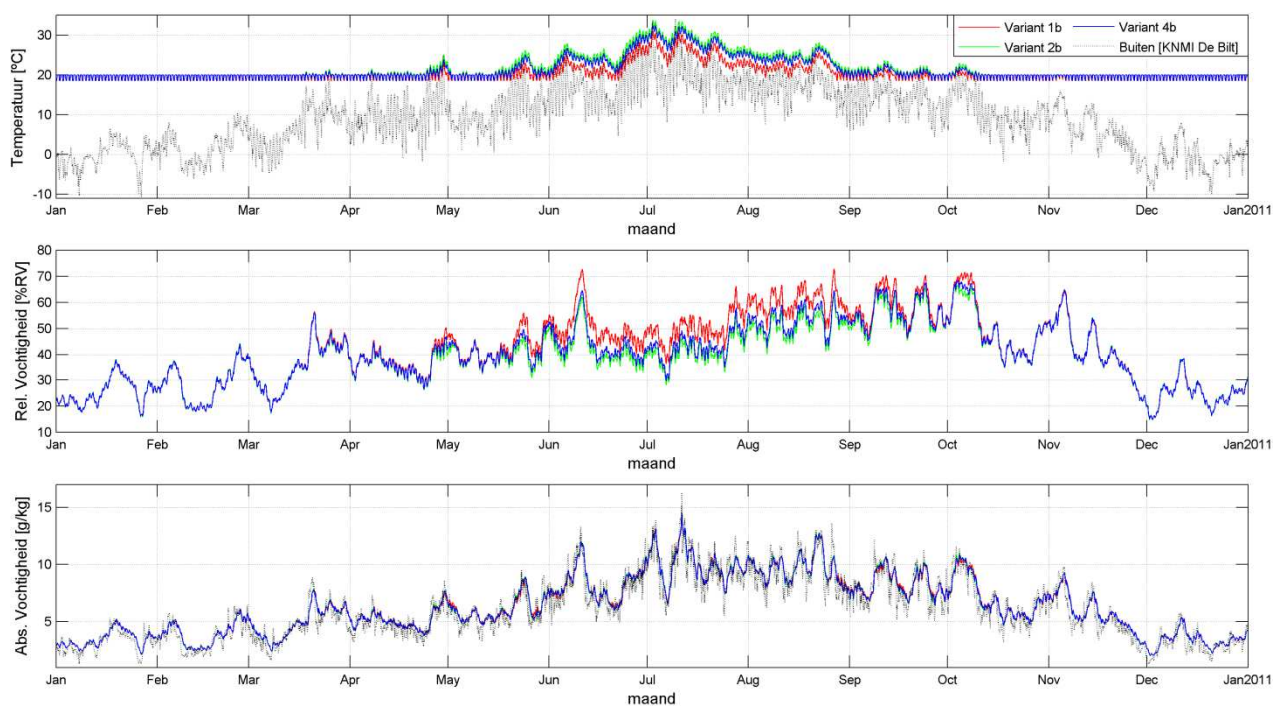
Figuur 64 Vergelijk van de gemeten en gesimuleerde data voor zone 2 van het model in de psychrometrische kaart

Varianten 1 t/m 4 zuidgevel



Figuur 65 Simulatieresultaten van variant 1a, 2a, 3 en 4a, weergegeven in een grafiek

Varianten 1 t/m 4 noordgevel



Figuur 66 Simulatieresultaten van variant 1b, 2b en 4b, weergegeven in een grafiek