

Vloerverwarming in musea

Dit artikel beschrijft het onderzoek naar temperatuur- en relatieve luchtvochtigheidsgradiënten die ontstaan bij het gebruik van vloerverwarming in een museale omgeving. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van een testopstelling in een klimaatkamer, bestaande uit een proefvloer met vloerverwarming, een vitrine-prototype en diverse dummyobjecten. Uit de testen volgt dat de verticale temperatuurgradiënt onder de gemeten omstandigheden ongeveer 4 °C bedraagt en voornamelijk over de eerste 10 cm boven de vloer optreedt. Onder objecten kan de temperatuur oplopen tot 27 °C. Klimaatgevoelige objecten kunnen hierdoor versneld degraderen. Aanbevolen wordt onder andere om collectie die op de vloer geplaatst wordt thermisch te scheiden van de vloer.

Ir. E. (Edgar) Neuhaus, Ingenieursbureau Physitec, dr. B. (Bart) Ankersmit, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, en dr.ir. H. (Henk) Schellen, Technische Universiteit Eindhoven

In een museum is een klimaat gewenst dat, naast thermisch comfort voor bezoekers, met name een gunstige invloed heeft op het behoud van de tentoongestelde objecten. Hiervoor wordt over het algemeen een stabiele en juiste relatieve vochtigheid (RV) nagestreefd. Grote fluctuaties, grote gradiënten en een te hoge of te lage temperatuur of RV kunnen risico's voor de collectie opleveren [1, 2]. Voorbeelden van deze risico's zijn mechanische breuk als gevolg van spanningen die ontstaan door verschillen in vochtgehalte of een verhoogd risico op (permanente) uitdroging als gevolg van een te lage RV. Een te hoge RV maakt schimmelgroei mogelijk of leidt tot versnelde corrosie.

De eisen die aan het binnenklimaat gesteld werden, en soms nog worden, zijn veelal gebaseerd op een maximaal haalbare veiligheid

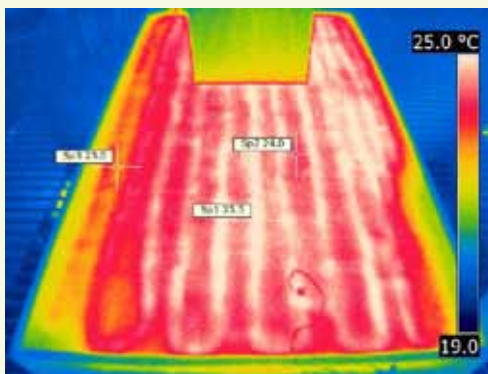
voor vochtgevoelig materiaal. Dit betekent dat musea tegen hoge inspanningen aan die strenge streefwaarden proberen te voldoen, ook voor ruimten waarin zich minder vochtgevoelig materiaal bevindt. Om de zeer nauwe bandbreedtes in RV en temperatuur te kunnen handhaven waren bovendien vaak ingrijpende aanpassingen aan het gebouw nodig. Vanuit het oogpunt van collectiebehoud wordt het gebruik van vloerverwarming in verband gebracht met risico's op het ontstaan van temperatuurgradiënten en lokale uitdroging van hygroscopische materialen. Bij de inrichting van expositiezalen wordt vaak collectie direct op de vloer geplaatst en gebruik gemaakt van vitrines. De vraag is dan ook of, als gevolg van de vloerverwarming, gradiënten ontstaan die onacceptabele risico's voor de tentoongestelde objecten opleveren. Tevens wordt een

verhoogd transport van stof bevattende lucht verwacht als gevolg van de temperatuurgradiënten [3, 4]. Het onderzoek heeft dan ook tot doel gehad antwoord te vinden op de volgende vragen:

1. Wat zijn de typische temperatuurgradiënten in objecten bij plaatsing op de met vloerverwarming verwarmde vloer?
2. Wat zijn de typische temperatuurgradiënten in een min of meer open en gesloten vitrine bij plaatsing op de met vloerverwarming verwarmde vloer?
3. Wat is de invloed van vloerverwarming op het ventilatievoud van een vitrine?

■ AANPAK

Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van een proefopstelling, opgesteld in een klimaatkamer van de Rijksdienst voor het



-Figuur 1- Het vitrine-prototype op de testvloer in de klimaatkamer (afbeelding links). Zichtbaar zijn de op de vloer geplaatste statieven met sensoren en diverse dummyobjecten. De afbeelding rechts toont een infraroodopname van de proefvloer met ingeschakelde vloerverwarming.

Culturele Erfgoed. De klimaatkamer is in staat een ingestelde temperatuur en RV min of meer constant te handhaven. De klimaatkamer was gedurende de experimenten ingesteld op 20 °C en 50%RV.

Om een expositiezaal met vloerverwarming zo goed mogelijk na te bootsen, is een proefvloer gebruikt waarin een elektrische vloerverwarming is opgenomen. Deze proefvloer bestaat uit een betonplaat met in de bovenlaag ingestorte vloerverwarming, afgewerkt met parket. De vloerverwarming is zo ingeregeld dat een zo goed mogelijke, stabiele oppervlakte-temperatuur van circa 25 °C ontstaat aan het parketoppervlak, wat overeenkomt met de te verwachten praktijksituatie in een museum met vloerverwarming.

Op de proefvloer is een vitrineprototype geplaatst (zie figuur 1). De afmetingen van het gebruikte vitrine-prototype bedragen 1,85 x 0,6 x 0,6 m³ (hoogte x breedte x diepte), met een inhoud van circa 0,65 m³. De vitrine is opgebouwd uit negen losse glasplaten (dikte 5 mm) en drie houten profielen: een bodemprofiel, een middenprofiel en een bovenprofiel. De glasplaten vallen in sleuven, gefreesd in het profiel. De vitrine heeft geen bodemplaat. De luchtinhoud staat daarmee in open verbinding met de vloer. Van het vitrineprototype is eerst met behulp van CO₂ het infiltratievoud gemeten, met uitgeschakelde en met ingeschakelde vloerverwarming. Op deze wijze is inzicht verkregen in de invloed van vloerverwarming op de luchtuitwisseling van de vitrine-inhoud met de omgeving.

Hygrothermische stratificatie is gemeten door één statief in de vitrine en één statief buiten de vitrine op de vloer te plaatsen. Aan de statieven zijn temperatuursensoren bevestigd, verdeeld

over de hoogte, en tevens een gecombineerde temperatuur/RV-sensor. De temperatuursensoren zijn voorzien van een stralingsscherm, om de luchttemperatuur zo nauwkeurig mogelijk te meten.

Op de vloer zijn meerdere dummyobjecten geplaatst. Met behulp van infraroodthermografie zijn bij een ingeschakelde vloerverwarming thermogrammen van de dummyobjecten gemaakt. Op deze wijze is de mate en het patroon van opwarming van de objecten vastgesteld.

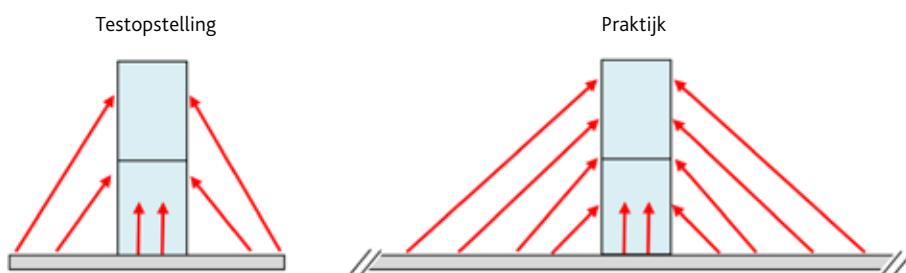
UITGANGSPUNTEN EN BEPERKINGEN

Aangezien het onderzoek uitgevoerd is met behulp van een testopstelling en er meerdere aannamen nodig waren, wijken de verkregen meetresultaten waarschijnlijk enigszins af van de te verwachten praktijksituatie. Verschillen zijn onder andere te verwachten door de volgende omstandigheden:

1. In de klimaatkamer is getracht de klimatologische situatie in een expositiezaal na te bootsen (20 °C bij 50%RV). Door de beperkte geometrie van de meetopstelling

zijn meerdere factoren, zoals luchtstromingen, luchtsnelheden, drukverschillen, het verwarmend vloeroppervlak en het verschil in oppervlaktetemperaturen, niet geheel natuurgetrouw na te bootsen.

2. Tijdens het onderzoek is opwarming van de vitrine door externe warmtebronnen, zoals verlichting, niet verondersteld. De geanalyseerde meetresultaten (temperatuur en RV) zijn verkregen bij een uitgeschakelde verlichting.
3. Voor het uitvoeren van de experimenten is gebruikgemaakt van een proefvloer met een beperkt oppervlak (circa 4 m²). Gesteld kan worden dat bij een groter vloeroppervlak met vloerverwarming, de praktijksituatie beter benaderd wordt en meer warmtestraling door de testobjecten ontvangen wordt. In de praktijk zal de vitrine in de expositiezaal meer warmtestraling aan de zijkanten ontvangen. Verwacht wordt dat de glasvlakken van de vitrine en daardoor ook het volume, meer kunnen opwarmen (zie ter illustratie figuur 2).
4. Warmteoverdracht kan geschieden via convectie (luchtstromingen), conductie



-Figuur 2- Schematische weergave van de door de vitrine ontvangen warmtestraling in de test- en praktijksituatie



-Figuur 3- Detail van de met aluminiumtape afgetapede vitrine

Meting	Infiltratievoud per uur [h ⁻¹]*	Infiltratievoud per dag [24h ⁻¹]
Vloer uit, vitrine 'open'	0,08	2,01
Vloer aan, vitrine 'open'	0,25	5,99
Vloer uit, vitrine 'dicht'	< 0,01	0,17
Vloer aan, vitrine 'dicht'	< 0,01	0,19

*de eenheid h⁻¹ betekent maal per uur

-Tabel 1- Resultaten van de infiltratievoudmeting van de vitrine

Mate van luchtdichtheid	Infiltratievoud (bij benadering)	Infiltratievoud per dag [24h ⁻¹]
I Niet afgedicht	1 maal per uur of minder	≤ 24
II Middelmatig afgedicht	1 maal per 24 tot 36 uur	0,66..1
III Goed afgedicht	1 maal per 72 uur of meer	≥ 0,33
IV Hermetisch afgedicht	Zeer minimaal infiltratievoud**	≈ 0

**Infiltratie zal altijd plaatsvinden o.a. als gevolg van atmosferisch drukschommelingen

-Tabel 2- Classificatie van de mate van luchtdichtheid van een vitrine volgens Raphael et al

(geleiding) en radiatie (straling). In de praktijksituatie zullen de oppervlakte-temperaturen van de omliggende vlakken als beglazing, wanden en plafond minder uniform zijn dan tijdens de test. In de klimaatkamer waren deze oppervlakte-temperaturen vrijwel uniform 20 °C. Deze variatie in oppervlakte-temperaturen kan, afhankelijk van de opstelling in de expositiezaal, invloed hebben op de temperatuur in de vitrine in verband met warmteoverdracht via straling.

- De oppervlakte-temperatuur van de proefvloer is niet geheel constant, maar laat in de tijd een kleine fluctuatie van circa 0,5 °C zien als gevolg van het aan/uit-gedrag van de toegepaste regelaar. Ook de inblaasconditie van de klimaatkamer varieert enigszins (circa 0,2 °C). De gepresenteerde luchttemperaturen variëren daarom ook licht, al naar gelang de oppervlakte-temperatuur van de vloer en de inblaasconditie variëren.

MEETRESULTATEN

Infiltratievoudmeting vitrine

Het infiltratievoud van de vitrine is gemeten onder vier verschillende omstandigheden:

Meting 1: vloerverwarming uitgeschakeld, vitrine niet afgetaped;

Meting 2: vloerverwarming ingeschakeld (oppervlakte-temperatuur circa 25 °C), vitrine niet afgetaped;

Meting 3: vloerverwarming uitgeschakeld, vitrine afgetaped;

Meting 4: vloerverwarming ingeschakeld (oppervlakte-temperatuur circa 25 °C), vitrine afgetaped.

Met 'afgetaped' wordt bedoeld dat de naden

van de vitrine zijn afgeplakt met aluminiumtape om de luchtdichtheid te verhogen. Hierbij is ook de aansluiting met de vloer afgeplakt (zie figuur 3). Het verhogen van de luchtdichtheid is gedaan om de mogelijke invloed op de optredende stratificatie vast te stellen.

Tabel 1 toont de resultaten van de infiltratievoudmetingen voor de vier genoemde varianten. Bij een ingeschakelde vloerverwarming is het infiltratievoud van de vitrine circa drie maal zo hoog. Dit betekent dat een hogere stofafzetting in het interieur van de vitrine verwacht kan worden als gevolg van een grotere luchtuitwisseling, veroorzaakt door de vloerverwarming.

Bij de afgetapede vitrine is het verschil in infiltratievoud vele malen kleiner dan bij de relatief open vitrine. Het aftappen van de naden van de vitrine heeft uiteraard een lager infiltratievoud tot gevolg: de luchtdichtheid van de vitrine is met een factor van circa 30 toegenomen. Hierbij moet vermeld worden dat de niet-afgetapede vitrine op sommige posities kieren tussen de glasvlakken heeft van tot wel 2 mm breed.

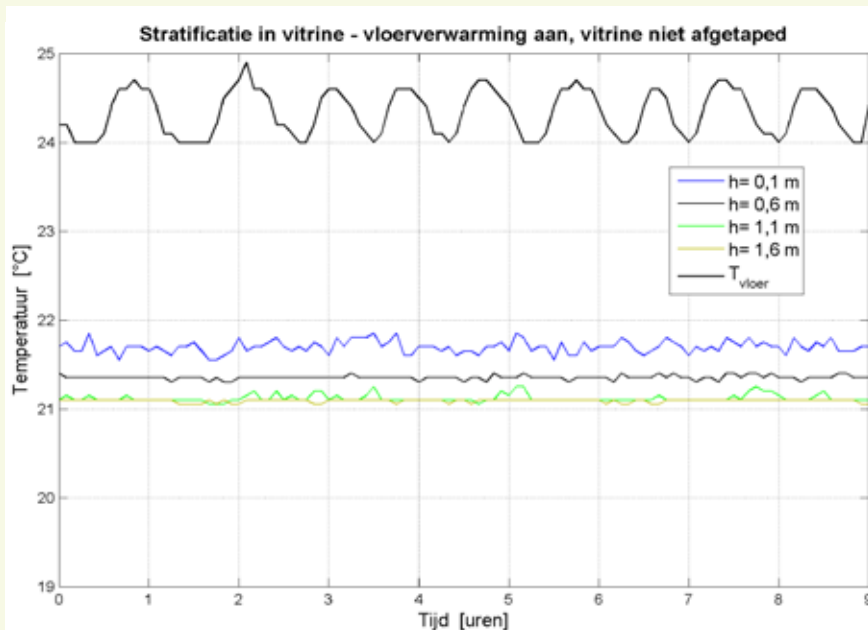
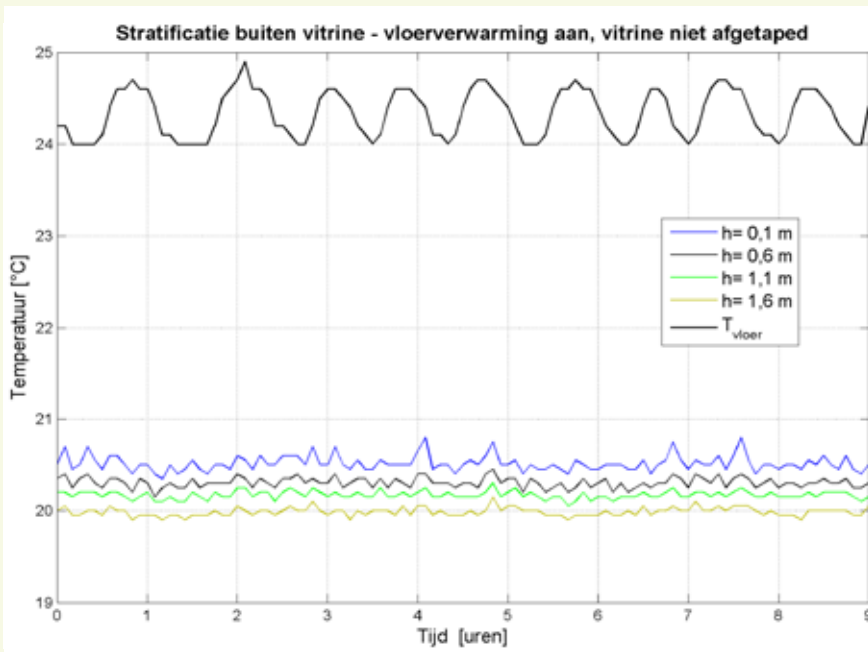
De berekende infiltratievouden onder de diverse omstandigheden geven een indicatie van het te verwachten infiltratievoud als dit type vitrine in een expositiezaal wordt toegepast. Het werkelijke infiltratievoud in de praktijksituatie zal enigszins afwijken van de gemeten waarden in de klimaatkamer als gevolg van belichting, een ander klimaat en drukschommelingen rond de vitrine. Daarnaast gaf de tijdens de meting gebruikte CO₂-sensor enige warmte af, waardoor ook het vitrinevolume licht opwarmde. Deze opwarming

bedraagt volgens de metingen typisch 0,2 °C. Tabel 2 geeft een classificatie weer van de mate van luchtdichtheid, volgens Raphael en Davis [5]. Hieruit volgt dat de niet afgetapede vitrine geïnclassificeerd kan worden als matig afgedicht. De met aluminiumtape afgedichte vitrine kan geïnclassificeerd worden als goed afgedicht.

Optredende luchtcondities en stratificatie

De thermische stratificaties in en buiten de vitrine zijn gemonitord en geanalyseerd onder dezelfde vier omstandigheden als bij de infiltratievoudmeting (zie hiervoor). De luchttemperatuur is gemeten op vier verschillende hoogten in de vitrine en ook buiten de vitrine, namelijk op 0,1, 0,6, 1,1 en 1,6 meter boven de vloer. Op één locatie in en buiten de vitrine zijn de temperatuur en de RV gemeten om het absoluut vochtgehalte te kunnen berekenen. Op basis van dit berekende absoluut vochtgehalte en de gemeten temperaturen, is de RV over de diverse hoogten berekend. Bij de hierna geanalyseerde data was de CO₂-sensor in de vitrine uitgeschakeld. Ook de verlichting in de klimaatkamer was uitgeschakeld.

De resultaten van meting 1 laten in en buiten de vitrine nagenoeg dezelfde temperaturen zien. Figuur 4 geeft de gemeten temperaturen over de hoogte buiten en in de vitrine weer gedurende meting 2. Geanalyseerd is een periode van negen uur waarin in de klimaatkamer geen verstoringen aanwezig waren, zoals personen of ingeschakelde verlichting. Uit de grafieken valt op te maken dat door de ingeschakelde vloerverwarming een duidelijke thermische gelaagdheid ontstaat. De temperatuur in de vitrine ligt echter circa 1 °C

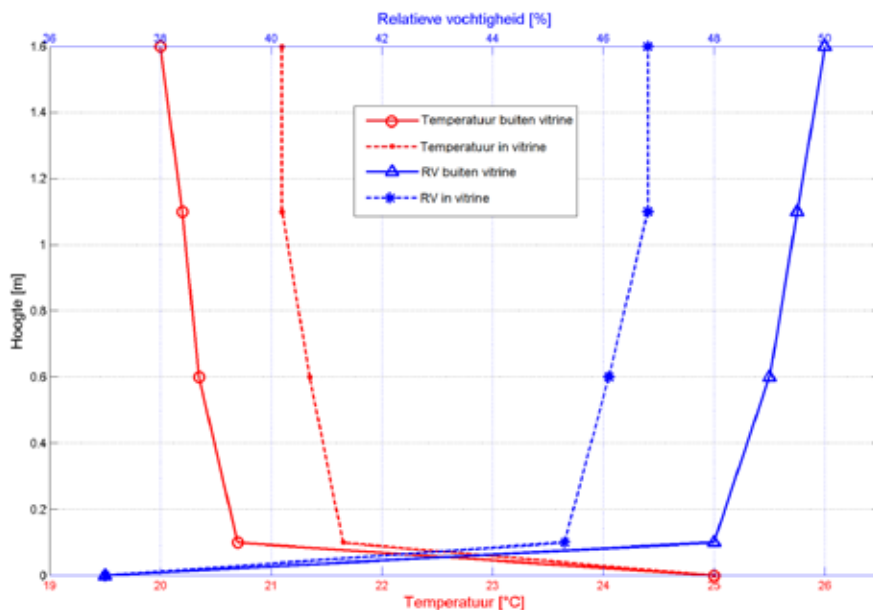


-Figuur 4- Weergave van de gemeten luchttemperaturen buiten de vitrine (a) en in de vitrine (b) over de hoogte, en de gemeten vloer temperatuur, gedurende een periode van negen uur

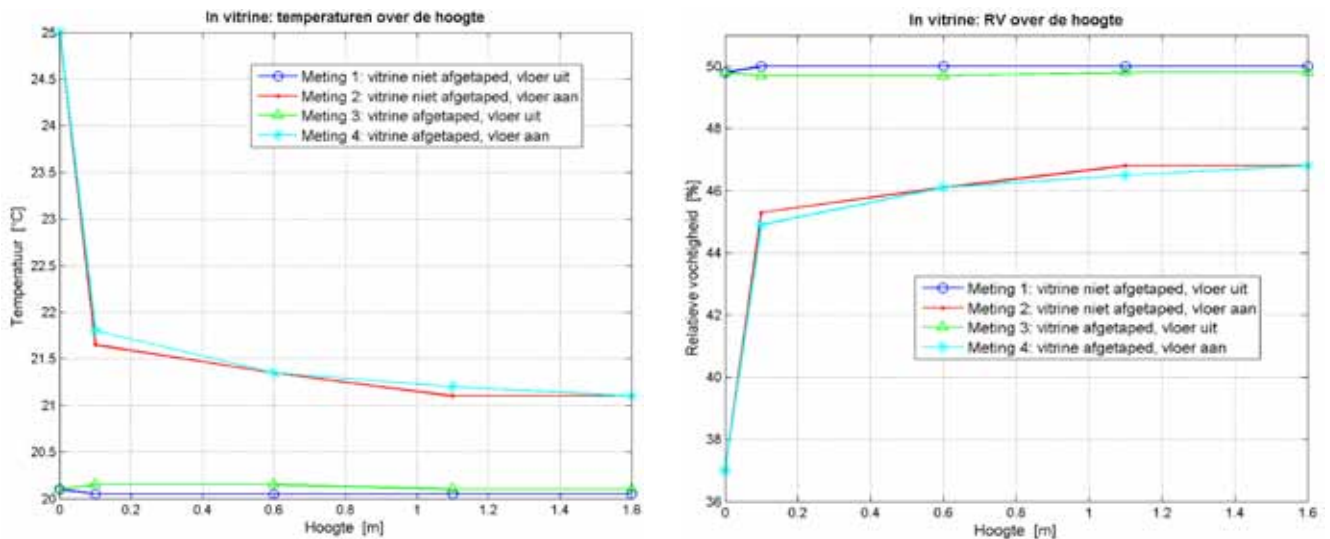
hoger dan buiten de vitrine. De thermische gelaagdheid die buiten de vitrine optreedt, is homogener verdeeld over de hoogte. In de vitrine bouwt de temperatuur zich sneller af als functie van de hoogte: de gemeten luchttemperatuur op 1,1 m en 1,6 m is nagenoeg gelijk. Figuur 5 toont de gemeten luchttemperatuur en de berekende RV als functie van de hoogte buiten en in de vitrine, op enig moment. Bij vloerverwarming wordt dicht bij de vloer uiteraard de hoogste temperatuur gemeten, zowel in als buiten de vitrine. De gelaagdheid treedt in de vitrine met name op in de eerste 0,1 m boven de vloer; boven een hoogte van 1,1 meter is de luchtconditie uniform te noemen. Figuur 6, op de volgende pagina, toont twee grafieken waarin de gemeten temperaturen en de berekende relatieve vochtigheden in de vitrine over de hoogte zijn weergegeven voor de vier verschillende varianten. De RV is berekend aan de hand van het absoluut vochtgehalte en de gemeten luchttemperaturen over de hoogte. Ook in deze visualisatie is zichtbaar dat de grootste gradiënt zich, bij een ingeschakelde vloerverwarming, over de eerste 0,1 m boven de vloer bevindt. Het RV-verschil bedraagt over de eerste 0,1 m circa 8%. Hoger dan 1,1 m zijn de luchtcondities min of meer uniform te noemen.

Infraroodthermografie

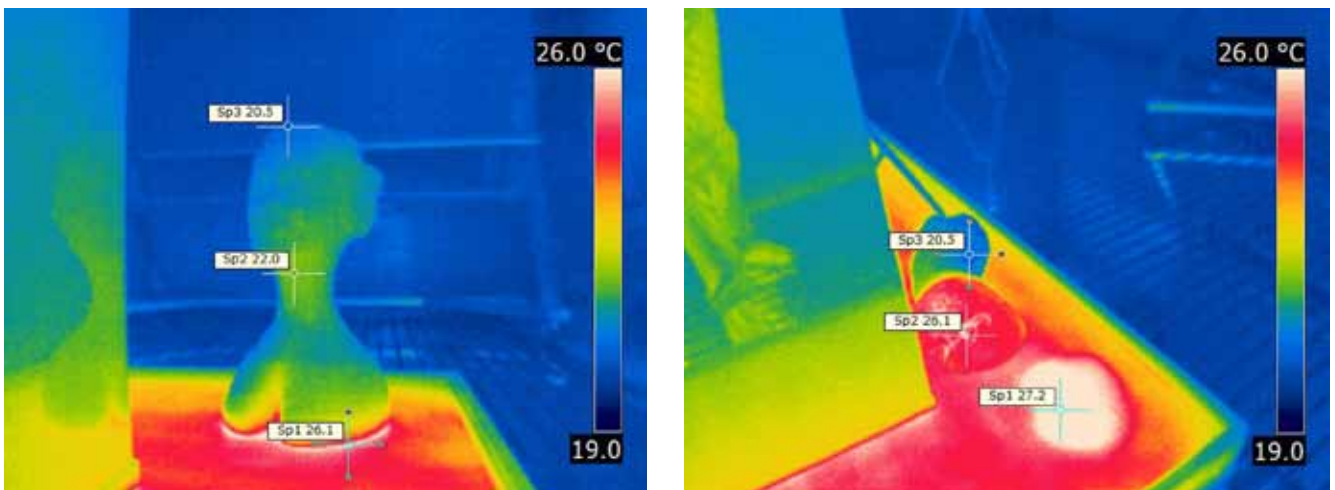
Figuur 7, op de volgende pagina, toont een infraroodopname van een dummyobject die direct op de vloer geplaatst is. De oppervlaktetemperatuur van de vloer bedraagt gemiddeld 25 °C. De opname laat zien dat het object het sterkste opwarmt waar het vloercontact plaatsvindt, in deze opname circa 26 °C. Daarna bouwt de oppervlaktetemperatuur van het object zich af, hoger van de vloer, tot circa de ruimteluchttemperatuur van 20 °C. Behalve op delen die een groter zichtcontact met de vloer hebben, zoals de hals van de buste. Hier treedt lokaal weer opwarming op als gevolg van warmtestraling van de vloer. Figuur 7 toont ook een afbeelding van de buste kort nadat deze gekanteld is. De opname laat zien dat nabij het contactvlak met de vloer hogere temperaturen optreden. In dit geval is zichtbaar dat de temperatuur onder het object opgelopen is tot ruim 27 °C. Daar waar de vloer afgedekt wordt, door bijvoorbeeld een kunstobject dat direct op de vloer geplaatst wordt, zal de oppervlaktetemperatuur hoger oplopen dan ter plaatse van de niet-afgedekte vlakken. Dit is te verklaren doordat het vloeroppervlak daar minder goed warmte af kan staan door straling of convectie, waardoor lokale warmteopbouw plaatsvindt en de oppervlaktetemperatuur oploopt.



-Figuur 5- Temperatuur (rode curve) en berekende RV (blauwe curve) als functie van de hoogte, bij een ingeschakelde vloerverwarming



-Figuur 6- Gemeten temperaturen (a) en de berekende RV (b) in de vitrine over de hoogte, weergegeven voor de vier verschillende metingen



-Figuur 7- Infraroodopname van een dummyobject, direct op de vloer geplaatst (a) en kort nadat deze gekanteld is (b)

Figuur 8 toont een zogenaamde hygrogram [4] van de buste op de vloer, waarin de relatieve vochtigheden nabij het oppervlak zichtbaar zijn. Dit hygrogram is berekend op basis van de oppervlaktetemperaturen die verkregen zijn uit het thermogram en de berekende absolute vochtigheid van de ruimte. Op het hygrogram is zichtbaar dat de RV nabij het contactoppervlak met de vloer circa 33% bedraagt als gevolg van de plaatselijke opwarming. De RV aan het oppervlak van de bovenzijde van het object bedraagt circa 50%. Het verschil in oppervlakte-RV voor dit object bedraagt in dit hygrogram circa 17%. Hygroscopische objecten kunnen dientengevolge ter plaatse van het contact met de vloer uitdrogen, waardoor het object lokaal kan vervormen of zelfs scheuren.

Analyse van stofverplaatsingen

Bij een ingeschakelde vloerverwarming is een hogere luchtuitwisseling gemeten dan bij een uitgeschakelde vloerverwarming. Aangezien de luchtstroom van de omgeving naar het inwendige van de vitrine toeneemt bij ingeschakelde

vloerverwarming en deze luchtstroom de drager is van stofdeeltjes en andere verontreinigingen, zal de stofverplaatsing sterker zijn bij een ingeschakelde vloerverwarming. Een hoge mate van luchtdichtheid is daarom essentieel bij het doorgemeten type vitrine (zonder bodemplaat).

De stofconcentratie buiten de vitrine is het hoogst te verwachten op en laag boven de vloer. Als gevolg van een schoorsteenwerking kan verwacht worden dat de lucht laag de vitrine binnentreedt en lucht hoog in de vitrine weer naar buiten treedt. De aandacht met betrekking tot kierdichting van de vitrine dient daarom extra uit te gaan naar de vloeraansluiting en aansluiting van de glasvlakken onderling en met het onderste en middelste profiel.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Objecten in vitrines

De gemeten klimatologische invloed van vloerverwarming op het vitrineluchtvolume is klein te noemen. De grootste opwarming

van de lucht treedt op in de luchtlaag dicht boven de vloer, tot op een hoogte van circa 0,1 m. Over deze hoogte bedraagt het temperatuurverschil circa 4 °C, met een bijbehorend verschil in RV van circa 9%. Op een hoogte groter dan 1,1 m is in de vitrine nagenoeg geen gradiënt meer gemeten. De luchttemperatuur is dan stabiel. In de vitrine is wel een lichte opwarming ten opzichte van de omgeving gemeten, tot circa 2 °C. Dit betekent dat als de ruimte geklimatiseerd wordt op 50%RV, de RV in de vitrine lager kan zijn, namelijk (afhankelijk van de hoogte) zo'n 44%, als gevolg van de lichte opwarming van het vitrineluchtvolume. In de praktijk kan deze opwarming hoger zijn, door verlichting of een ander glastype, waardoor de RV in de vitrine lager kan worden. De mate van luchtdichtheid heeft nauwelijks invloed op de optredende gradiënt in de vitrine.

Ten opzichte van een uitgeschakelde vloerverwarming, is een hogere luchtuitwisseling (infiltratievoud) gemeten. Hieruit kan geconcludeerd worden dat bij een ingeschakelde

vloer meer vervuiling de vitrine kan binnentreden. De mate van kierdichtheid heeft echter een veel grotere invloed op de luchtuitwisseling en daarmee op interne vervuiling van de vitrine.

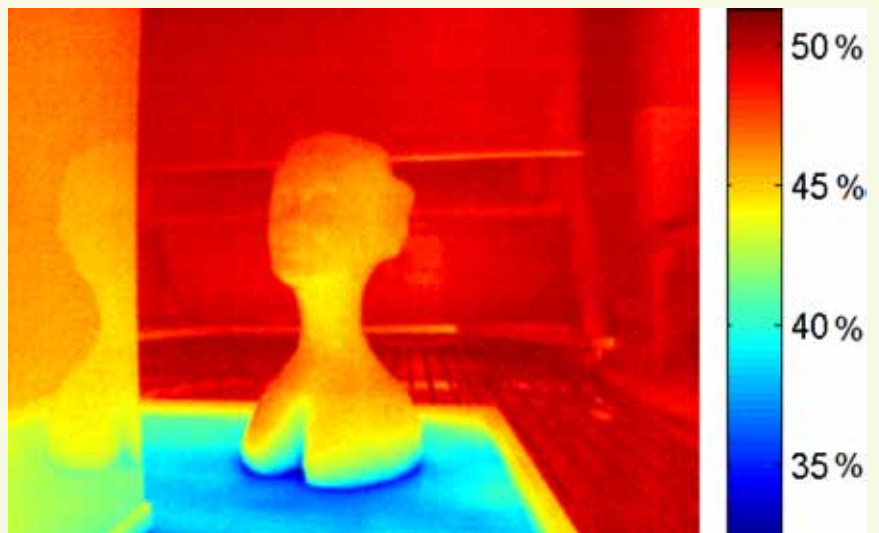
Aanbevolen wordt te zorgen voor een hoge mate van kierdichtheid van de vitrine. Bij het gebruikte vitrine-prototype is dit te verkrijgen door gebruik te maken van siliconenpakkingen ter plaatse van de beglazing in de profielen. Daarnaast zal de afdichting tussen de verstekgezaagde glasvlakken op de hoeken van de vitrine een belangrijke rol spelen. De hoeken van de glaspanelen kunnen afgedicht worden met een transparante kit. De aansluiting van het bodemprofiel met de vloer verdient speciale aandacht. Doordat de stofconcentratie over het algemeen laag bij de vloer het hoogst is, is hier de grootste stofinfiltratie te verwachten.

Indien zeer klimaatgevoelig expositiemateriaal in de vitrine tentoongesteld wordt, dan wordt aanbevolen een laag isolatiemateriaal onderin de vitrine aan te brengen, eventueel af te dekken met een laag parket, zodat de visuele impact beperkt is. Volstaan kan worden met een isolatiedikte van circa 5 cm. Belangrijk is het om de vitrines in de praktijk niet overmatig aan te lichten met (halogeen) spots, om overmatige opwarming en temperatuur- en RV-schommelingen in de vitrine te vermijden.

Objecten op de vloer

Over de eerste 0,1 m boven de vloer is de grootste gradiënt gemeten als gevolg van een opgewarmde luchtstroom vanaf de vloer en het contact met de vloer. Daarna wordt de luchttemperatuur al gauw min of meer gelijk aan de ruimteluchttemperatuur, als gevolg van luchtmenging. De onderste 0,1 m van kunstobjecten die direct op de vloer geplaatst worden, ondervinden daarom de grootste gradiënt in temperatuur en relatieve vochtigheid aan het oppervlak. Wat bij deze opwarming de grootste rol speelt is de opwarming van het object ter plaatse van het contactoppervlak met de vloer. De oppervlaktetemperatuur ter plaatse van het contactoppervlak kan, afhankelijk van o.a. de grootte van het contactoppervlak en de thermische geleidbaarheid van het object, oplopen tot enkele graden boven de oppervlaktetemperatuur van het niet-afgedekte vloerdeel. De gemeten temperatuurverschillen over een object liggen in de orde grootte van 7 °C en de relatieve vochtigheidsverschillen die ditengevolge ontstaan, in de orde grootte van 17%.

Hygroscopische of temperatuurgevoelige collectie dient dan ook niet direct op de vloer geplaatst te worden of thermisch gescheiden



-Figuur 8- Hygrogram van de buste, berekend op basis van het thermogram

te worden van de vloer met circa 0,05 m dik isolatiemateriaal.

Over het algemeen kan gesteld worden dat vloerverwarming een verwarmingssysteem is waarbij mensen zich het meest comfortabel voelen. In de museale omgeving is vloerverwarming echter af te raden. Naast ongewenste opwarming van collectie, zorgt vloerverwarming namelijk voor een opwaartse luchtstroming vanaf de vloer. Hierdoor wordt vervuiling vanaf vloerniveau verspreid in de ruimte. Daarnaast is het risico op lekkage aanwezig als bijvoorbeeld in de vloer geboord wordt. Voor bestaande musea met vloerverwarming in de expositiezalen wordt aanbevolen de vloeren regelmatig te stofzuigen en bij de entree goede schoonloopmatten toe te passen. Daarnaast wordt aanbevolen de vloertemperatuur in expositiezalen gedurende het stookseizoen lager dan 25 °C te houden. Bij lagere temperaturen zal minder stofmenging in de ruimte optreden. Indien klimaatgevoelige collectie op de vloer geplaatst is, dient de betreffende vloerverwarmingsgroep in temperatuur verlaagd of uitgeschakeld te worden. Met de testopstelling is getracht de praktijksituatie voor zover mogelijk te benaderen. Het blijft echter een benadering.

LITERATUURLIJST

1. Ashrae (2011) Museums, galleries, archives, and libraries (Chapter 23), Ashrae handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning applications, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, pag. 23.1-23.23.
2. Ankersmit, B. (2009) Klimaatwerk; richt-

lijnen voor het museale binnenklimaat, Instituut Collectie Nederland, november 2009.

3. Camuffo, D., Pagan, E., Bernardi, A., Becherini F. (2004) The impact of Heating, Lighting and People in re-using Historical Buildings: a Case Study, Journal of Cultural Heritage, vol. 5, pag. 409-416.
4. Schellen, H.L. (2002) Heating Monumental Churches, Indoor Climate and Preservation of Cultural Heritage, Dissertatie, Technische Universiteit Eindhoven, ISBN 90-386-1556-6.
5. Raphael, T., Davis, N. (1999) Exhibit Conservation Guidelines, U.S. National Park Service, Division of Conservation.