

Meten van het binnenklimaat : waarom, waar?

Citation for published version (APA):

Ankersmit, B., Brokerhof, A. W., Kragt, W., Stappers, M. H. L., Duggen, N., Jonge, de, J., Schonewille, J., Eijdens, H. H. E. W., Martens, M. H. J., Schellen, H. L., Otte, M., & Tegelaers, J. M. (2010). *Meten van het binnenklimaat : waarom, waar?* Instituut Collectie Nederland.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/2010

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

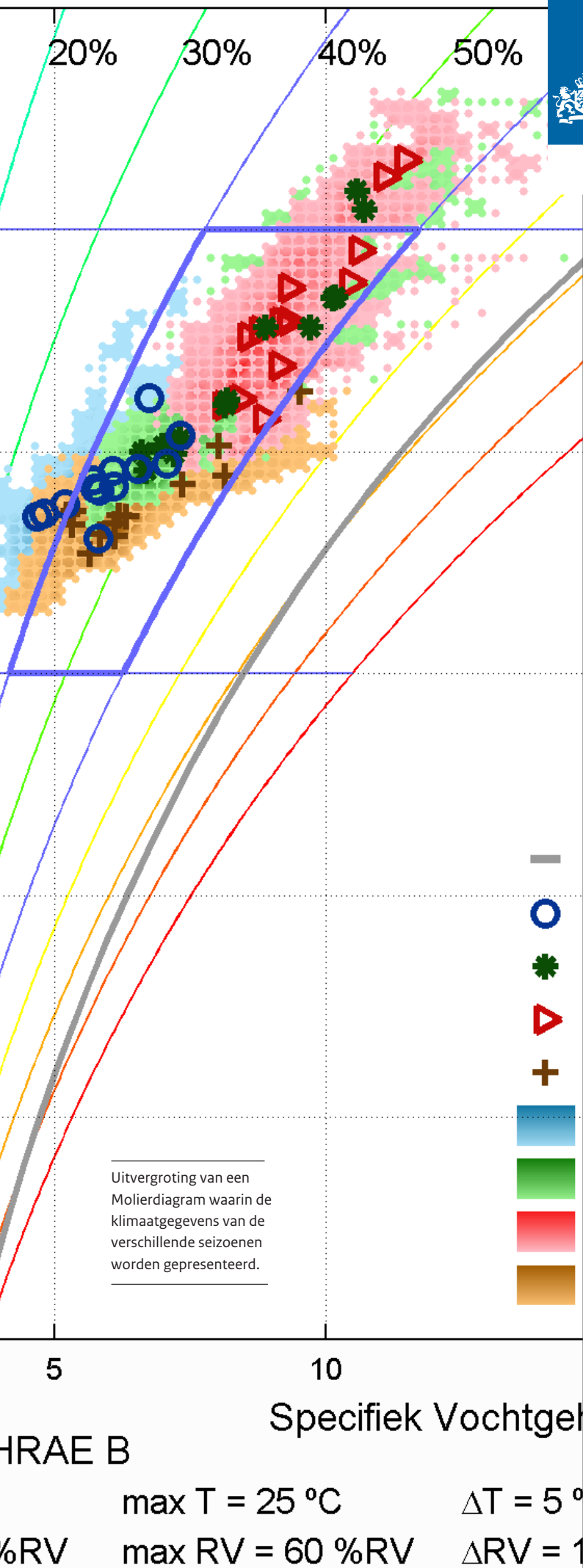
www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.



Instituut Collectie Nederland
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap

Meten van het binnenklimaat. Waarom, waar?

Inhoud

- 2 - Inleiding
- 3 - Hoe komt het binnenklimaat tot stand?
- 7 - Zeven stappenplan
- 22 - Afsluitend
- 23 - Een casus: meten in kerken
- 26 - Literatuur
- 27 - Adressen leveranciers

Inleiding

Deze informatiebrochure is ontwikkeld voor collectiebeheerders van erfgoedinstellingen die verantwoordelijk zijn voor of interesse hebben in het binnenklimaat. De inhoud van de brochure is tot stand gekomen door een samenwerking binnen het Klimaatnetwerk van Instituut Collectie Nederland (ICN), de Erfgoedinspectie (EGI), het Landelijk Contact van Museumconsulenten (LCM), de Rijksdienst voor het Culturele Erfgoed (RCE), de Rijksgebouwendienst (Rgd) en de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e).

Met deze brochure hoopt het Klimaatnetwerk inzicht te geven in verschillende aspecten van het meten van het binnenklimaat. De brochure sluit aan bij de publicatie 'Klimaatwerk'¹ waarin aan de hand van vier stappen een besluitvormingstraject wordt uitgewerkt om te komen tot een verantwoord binnenklimaat.

Aan musea, historische huizen, kerken en andere culturele instellingen wordt al jaren geadviseerd het binnenklimaat te meten. In veel ruimtes worden dan ook met behulp van thermohygrografen en/of dataloggers temperatuur (T) en relatieve luchtvochtigheid (RV) continu geregistreerd. Soms wordt met een handmeter het heersende klimaat vastgesteld. Zo wordt er veel tijd en geld besteed aan het vastleggen van het binnenklimaat.

De praktijk wijst uit dat niet alle metingen even betekenisvol zijn. De metingen worden pas echt waardevol en betrouwbaar als er vanuit een goed geformuleerde vraagstelling data worden verzameld. Bij bestudering van oude klimaatgegevens rijzen tal van vragen: Waarom is gemeten? Waar is precies gemeten? Was het meetapparaat gekalibreerd? Vanwege deze onzekerheden wordt in de meeste gevallen besloten nieuwe klimaatmetingen uit te voeren en de oude data niet te gebruiken.

In deze brochure presenteren wij een stappenplan waarmee een meetstrategie kan worden ontwikkeld zodat er betekenisvolle dataregistratie plaatsvindt.

Er worden zeven stappen onderscheiden:

- 1 *Waarom* wil je iets weten?
- 2 Verzamelen van algemene informatie over de locatie, situatie
- 3 *Wat* wil je precies meten?
- 4 *Waar* moet dan worden gemeten?
- 5 *Hoe* kan het best worden gemeten?
- 6 Resultaten verwerken en interpreteren
- 7 Actie ondernemen

Als waarom, wat, waar en hoe zijn bepaald kan een meetplan worden opgesteld. Dit meetplan moet gezien worden als de documentatie van de meting en kan een aanzet zijn, met aanvulling van de resultaten, tot verdere rapportage naar belanghebbenden.

Een aantal gerelateerde onderwerpen valt buiten het bereik van deze brochure. Het inschatten van het potentiële klimaatrisico voor de collectie en de mogelijkheden van klimaatcontrole staan in de publicatie 'Klimaatwerk'. Interpretatie van meetgegevens om de risico's te kunnen inschatten is een complex onderwerp en zal slechts in zeer beperkte mate worden uitgewerkt. Ook voor de te nemen maatregelen wordt verwezen naar de publicatie 'Klimaatwerk'.

Voordat dieper wordt ingegaan op de verschillende stappen, wordt kort de wijze waarop het binnenklimaat tot stand komt besproken.

Afbeelding 1

Drie verschillende metingen. V.b.n.b.: een thermohygrograaf centraal in een tentoonstellingszaal, sensoren van het gebouwbeheersysteem en korte duur metingen met een losse datalogger in een vitrine.



¹ De publicatie is verkrijgbaar bij Amsterdam University Press (ISBN 9789085550259).

Hoe komt het binnenklimaat tot stand?

Om inzicht te krijgen in hoe het klimaat in een gebouw/ruimte tot stand komt, ligt het voor de hand om van buiten naar binnen te kijken. Hoe en in welke mate dringt de buitenlucht naar binnen? Veranderen de condities van deze lucht na binnenkomst? Is de temperatuur binnen anders dan buiten? Is er sprake van vochtafgifte of -opname (vochtbuffering) door het gebouw, interieur, collectie en/of gebruik (bezoekers)? Wordt de lucht actief be- of ontvochtigd, gekoeld of verwarmd? Voor enig begrip over het tot stand komen van het binnenklimaat is inzicht in het gedrag van het gebouw, de inrichting, de installaties en in werkwijzen en procedures noodzakelijk.

De bouwschil

Het gebouw is een fysieke scheiding tussen buiten- en binnenklimaat. De kwaliteit van de bouwschil in termen van beglazing, warmte- en vochtisolatie, warmte- en vochtbuffering, ventilatie en mate van lektheid (infiltratie) bepaalt in welke mate het buitenklimaat naar binnen wordt doorgegeven. Uiteraard zal de aanwezigheid van een volledige klimaatinstallatie grote invloed hebben op het binnenklimaat. De wijze waarop het binnenklimaat uiteindelijk tot stand komt is een complex samenspel van verschillende interne en externe factoren.

Een verkeerde relatieve luchtvochtigheid levert verschillende belangrijke risico's op voor de collectie en soms ook voor het gebouw. Daarom is in onderstaand schema (afbeelding 2) gekozen om de wijze waarop deze tot stand komt te visualiseren als functie van de absolute luchtvochtigheid (AV) in het blauw en de temperatuur (T) in het rood.

Door openingen in de bouwschil treedt actief (ventilatie) of passief (infiltratie) buitenlucht met een bepaald absoluut vochtgehalte (AV_{buiten}) naar binnen. Vervolgens kan het vochtgehalte van de lucht veranderen door toevoegen of wegnemen van vocht. De aanwezige vochtbronnen zullen vocht toevoegen, terwijl vochtputten vocht onttrekken. Uiteindelijk bepaalt de capaciteit van de bronnen en/of putten of de AV_{binnen} hoger of lager is dan de AV_{buiten} . Omdat door drukverschillen menging van de absolute luchtvochtigheid plaatsvindt, is er in ruimten en soms zelfs in gebouwen nauwelijks sprake van grote ruimtelijke verschillen in de absolute hoeveelheid vocht in de lucht.

Ook kan de absolute luchtvochtigheid binnen afwijken van buiten door een tijdvertragend effect dat veroorzaakt wordt door de grootte van de volumestroom van de ingebrachte lucht en de vochtopname en -afgifte van de bouwmasa en het interieur.

De gemiddelde temperatuur (ook wel operationele temperatuur genoemd) is een resultante van de luchttemperatuur en de verschillende stralingstemperaturen van warme en koude oppervlakken. Er kunnen lokaal zeer afwijkende temperaturen heersen door warmtebronnen zoals radiatoren of door de zon opgewarmde oppervlakken, maar zeker ook door koude wanden, ramen, vloeren of daken. Als gevolg daarvan kunnen er lokaal verschillen in relatieve luchtvochtigheid optreden. De (lokale) relatieve luchtvochtigheid wordt daarom primair bepaald door de (lokaal afwijkende) temperatuur.

Vochtbronnen geven vocht af aan de lucht en de mate waarin dat gebeurt, hangt af van de capaciteit. Bekende vochtbronnen zijn lekkages, bezoekers en luchtbevochtigers.² Hierbij moet worden opgemerkt dat meer bevochtigers niet zondermeer meer vocht betekent, maar de mogelijkheid om meer vocht in te brengen. Daarnaast kan (een deel van) het gebouw zelf ook een vochtbron zijn, vooral als er sprake is van optrekkend vocht. Vocht kan ook worden afgevoerd door zogenaamde vochtputten. Voorbeelden van vochtputten zijn (mobiele) ontvochtigers³ en condensatieprocessen, zoals op enkel glas in de winter. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat er ook condensatie elders in de bouwschil kan plaatsvinden waar het niet direct zichtbaar is. Er kan gedacht worden aan koude plekken achter wandbespanning of lambrisering. De bouwmasa, het interieur en de collectie vormen ook belangrijke vochtbronnen of -putten. Het evenwichtsvochtgehalte van alle aanwezige hygroskopische materialen verandert bij een veranderende relatieve luchtvochtigheid. Zo zijn de collecties in bibliotheken en archieven een grote bufferende massa.

² Met een typische capaciteit van 50 tot 100 ml per uur (grofweg een glas) voor één rondwandende bezoeker en 0,5 tot 1 liter per uur (grofweg een fles) voor een mobiele bevochtiger.

³ Met een typische capaciteit van 0,1 tot 0,3 liter per uur.

Afhankelijk van de (lokale) temperatuur zal er bij een bepaalde absolute luchtvochtigheid een specifieke relatieve luchtvochtigheid (RV_{binnen}) heersen (zie ook afbeelding 3). De vraag is dus nu, hoe komt de temperatuur binnen (T_{binnen}) tot stand?

De ruimtelijke luchttemperatuur (T_{binnen}) komt tot stand door inwerking van alle oppervlakte temperaturen in de ruimte en de temperatuur van de binnenkomende lucht. Ook nu geldt dat de kwaliteit van de bouwschil (isolatie, buffering en lekheid) in hoge mate bepaalt wat de binnentemperatuur is. Is er sprake van koude of wellicht juist warme wanden? Een dunne muur kan in de zomer veel meer opwarmen dan een dikke, die een grotere thermische massa heeft. Gebouwen met dikke muren en weinig glasoppervlak, zoals kastelen en kloosters, hebben een grote thermische massa en zullen na afkoeling in de winter, relatief koel blijven gedurende de zomer en slechts heel langzaam opwarmen. Hierdoor worden dagelijkse temperatuurfluctuaties van het buitenklimaat op het binnenklimaat vrijwel geheel opgevangen. De invloed van seizoenen wordt gedempt: het gebouw is 's zomers koel en 's winters relatief warm.

Er zijn echter ook museale situaties waarbij de buitenschil een zeer beperkte isolerende of bufferende werking heeft. Een typisch voorbeeld daarvan is een gemusealiseerd stalen schip, zoals de onderzeeboot of het ramschip in de collectie van het Marinemuseum te Den Helder dat in de zomer zeer warm en in de winter relatief koud is.

Er kunnen ook plaatselijk afwijkende klimaatcondities heersen. De temperatuur kan lokaal oplopen doordat zonnestraling het vertrek binnentreedt en een deel van een object, wand of vloer opwarmt. Ook kan warmte afgegeven worden door verlichting zoals halogeen, zeker wanneer deze geplaatst is in een afgesloten ruimte, zoals een vitrine. Ook bezoekers geven warmte af. Maar de meest voorkomende warmtebron is de radiator, die gevuld wordt met warm water en tot wel 70°C ⁴. Daarnaast zijn er ook nog minder evidente afwijkingen te noemen die slechts na gedegen onderzoek aan het licht komen, zoals de bezonning van een geblindeerd raam achter een voorzetwand. Er kan ook sprake zijn van lokale koeling door airconditioning of luchtstroming (tocht).

Zoals hiervoor al is aangegeven wordt het binnenklimaat gekenmerkt door de drie grootheden: een (gemiddelde) temperatuur, T in $^{\circ}\text{C}$, een (gemiddelde) relatieve luchtvochtigheid, RV in % en de absolute luchtvochtigheid, AV in g/m^3 of kg/kg ⁵. Deze grootheden zijn aan elkaar gerelateerd en kunnen in elkaar worden omgerekend⁶. In afbeelding 2 zijn deze relaties gevisualiseerd in de zogenaamde psychometrische kaart. De horizontale as toont de temperatuur en de verticale as toont de absolute luchtvochtigheid. De gebogen curven geven de corresponderende relatieve luchtvochtigheid weer. De relatieve luchtvochtigheid kan nooit lager worden dan 0% (volledig droog) of hoger worden dan 100%. Bij 100% bevat de lucht de maximale hoeveelheid vocht bij die temperatuur dit wordt ook wel het dauwpunt genoemd. Daarboven zal het vocht uit de lucht condenseren en als mist zichtbaar worden.

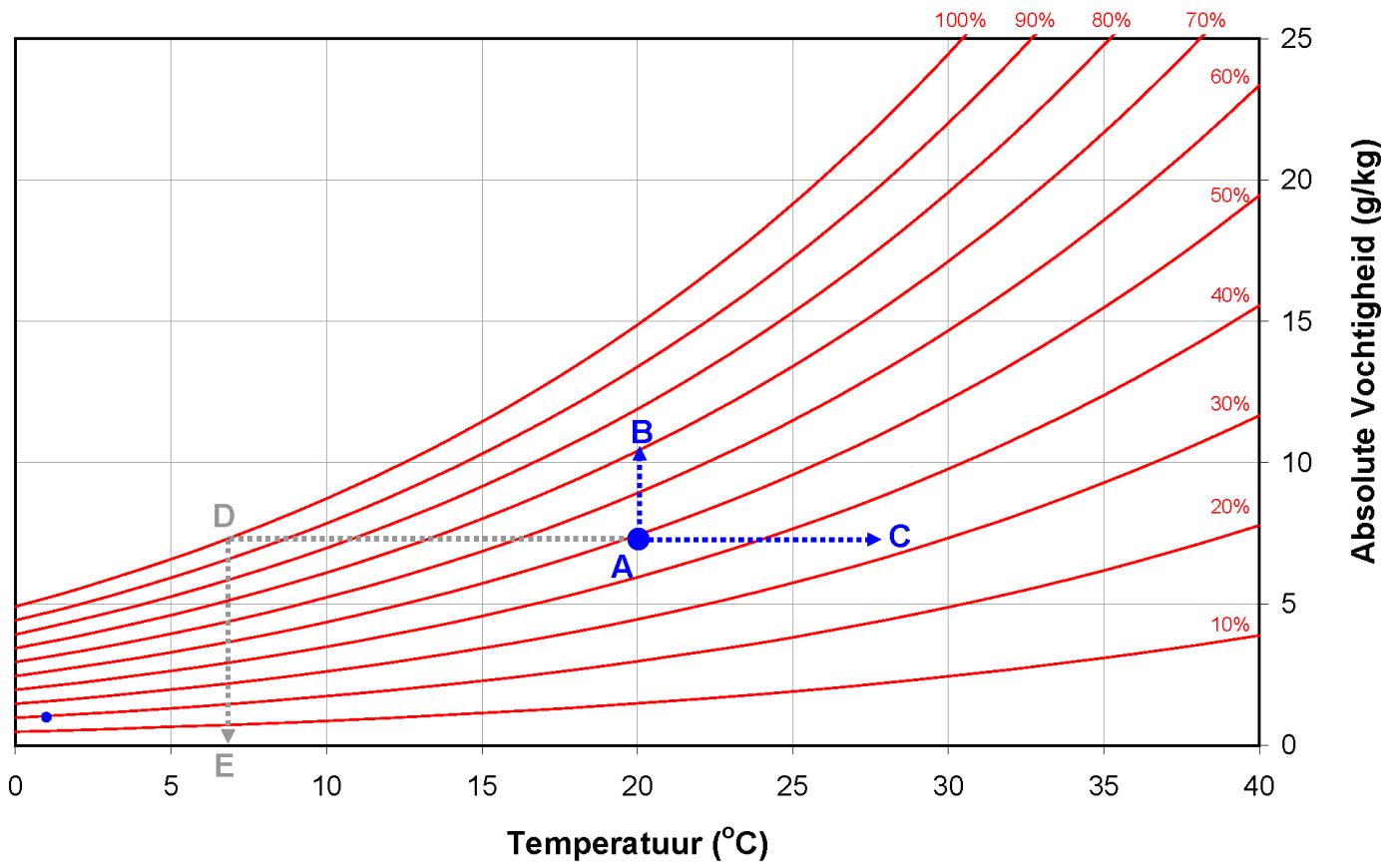
Het blauwe punt (A) toont dat bij 20°C en een absolute vochtigheid van $7,44 \text{ g}/\text{kg}$ de RV 50% bedraagt. Bij gelijkblijvende temperatuur zal de relatieve luchtvochtigheid stijgen als de absolute vochtigheid toeneemt (lijn AB) en dalen bij een afname van de absolute vochtigheid. Bij gelijkblijvende absolute vochtigheid zal de relatieve luchtvochtigheid dalen bij toename van de temperatuur (lijn AC) en stijgen bij een afname van de temperatuur (lijn AD). Als de temperatuur aan een oppervlak lager wordt dan ongeveer 7°C (punt E) zal het vocht in de lucht condenseren en als water langs het oppervlak stromen.

Samenvattend kan worden opgemerkt dat de wijze waarop het klimaat tot stand komt van veel factoren afhangt. Om mogelijke risico's voor het gebouw en de collectie te kennen moet inzicht in die complexiteit worden verkregen. Hierbij is het belangrijk om de oorzaken voor een afwijkend klimaat te vinden zodat verbeteringen kunnen worden aangebracht.

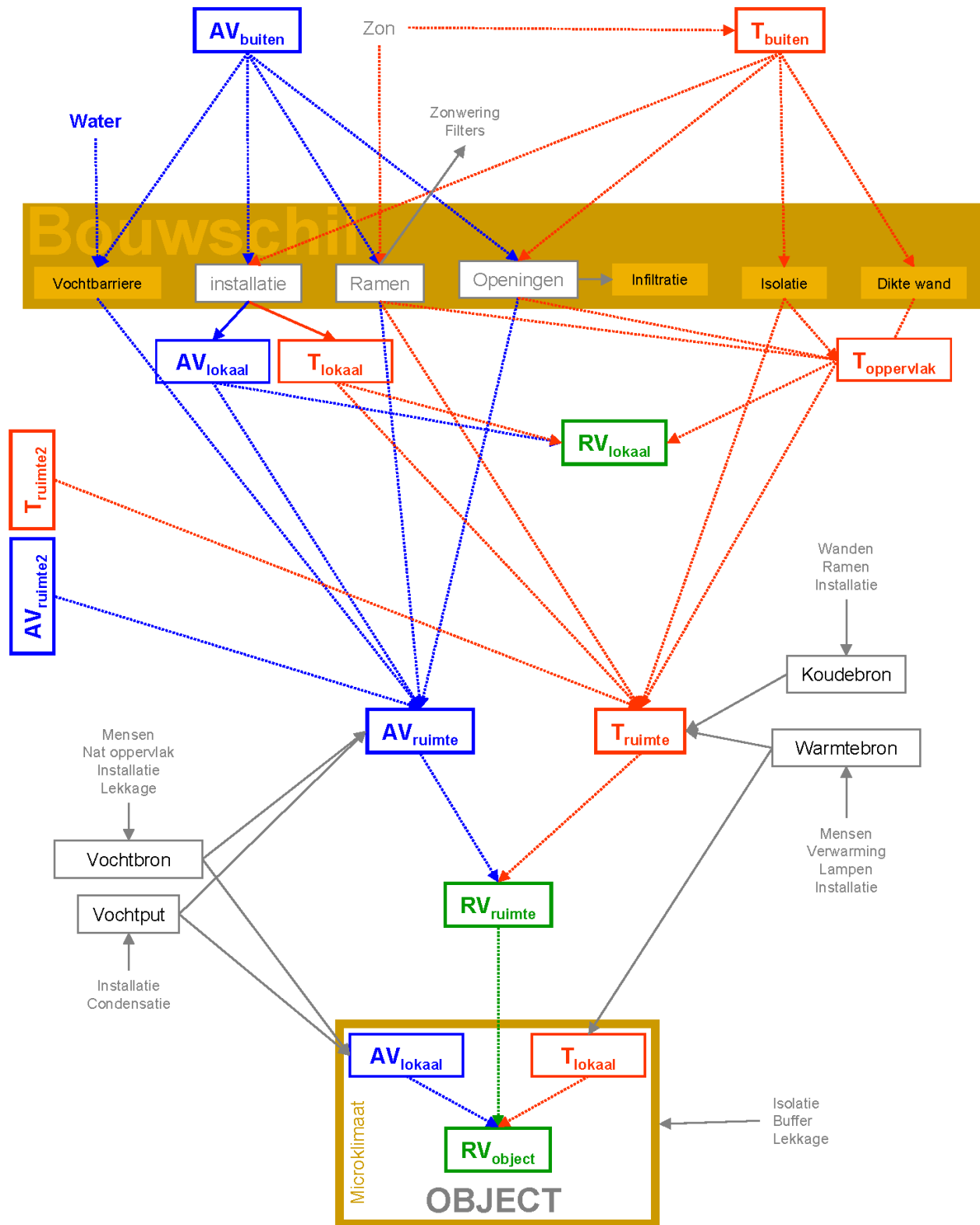
4 Er gaat water van ongeveer 90°C in en van 70°C retour.

5 De absolute luchtvochtigheid is massa waterdamp die in de lucht aanwezig is in kilogram per kilogram droge lucht (kg/kg) of gram per kilogram droge lucht (g/kg) in of massa waterdamp per volume lucht (g/m^3).

6 Zie: 'Klimaatwerk' bijlage 4: omrekenen relatieve luchtvochtigheid en temperatuur in absolute luchtvochtigheid



Afbeelding 2
Psychometrische kaart



Afbeelding 3
 Een schematisch overzicht van de wijze waarop verschillende relatieve luchtvochtigheden (lokaal, oppervlak, ruimte en nabij het object) tot stand kunnen komen.

Zeven stappen plan

In het nu volgende worden de zeven stappen voor het meten van het binnenklimaat verder uitgewerkt.

STAP 1 - Waarom meten?

In deze stap wordt de eigenlijke reden voor het doen van de metingen geformuleerd: de onderzoeksvraag. Het verdient aanbeveling om de vraag zo specifiek mogelijk te maken. Als de vraag te algemeen is, kan deze zeer lastig te beantwoorden blijken.

Er zijn tal van redenen om kennis over het heersende binnenklimaat te willen hebben. De meest voorkomende zijn:

- Hoe komt het binnenklimaat tot stand in een specifieke ruimte? Wat zijn de typische gemiddelde waarden en fluctuaties in een specifieke ruimte?
- Wat zijn de heersende klimaatzones in het gebouw? Er kan gekeken worden hoe ruimtes elkaar beïnvloeden en hoe deze het meest optimaal gebruikt kunnen worden voor het opslaan of presenteren van collectie.
- Kennis over het klimaat rondom de objecten (ook als deze zich achter glas of in dozen bevinden). Om daarmee een schatting te kunnen maken van de risico's waaraan de collectie werkelijk blootgesteld wordt en om mogelijk opgetreden schades te kunnen verklaren.
- Wat gebeurt er in afgesloten ruimtes (vitrines, dozen en kasten)? Wat is de prestatie van deze potentiële barrières?
- Kennis over de prestatie van de aanwezige klimaatsbeheersingsapparatuur vergaren, zoals radiatoren, lokale be- en ontvochtigers en/of de klimaatinstallatie.
- Controle van de werking van getroffen maatregelen.
- Onafhankelijke controle van de prestatie van de klimaatinstallatie. De meting door de sensoren van het gebouwbeheersysteem (GBS) kunnen, als ze niet correct zijn, leiden tot ernstige klimaatafwijkingen. Om meetfouten van de installatie tijdig op te merken is onafhankelijke registratie noodzakelijk.

STAP 2 - Verzamelen van algemene informatie

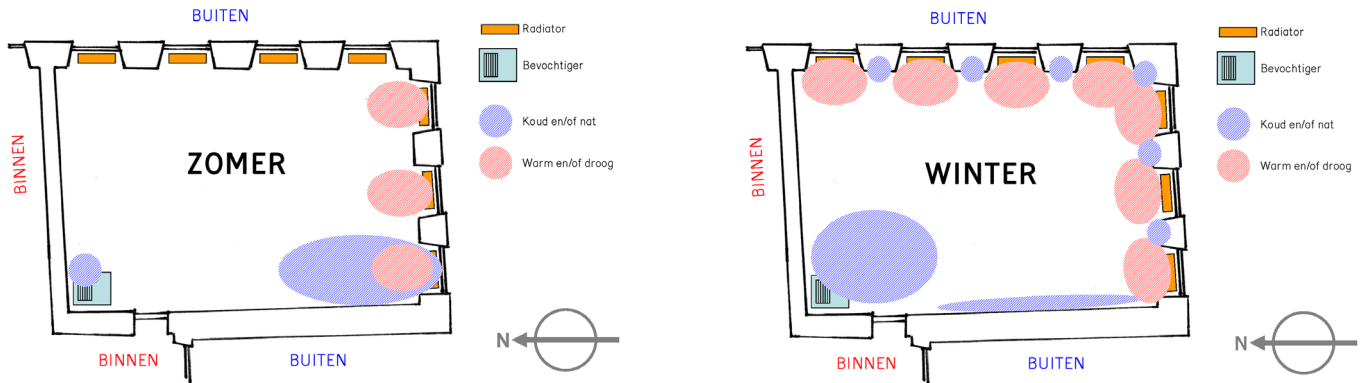
Voordat begonnen kan worden met het nadenken over het binnenklimaat in een specifieke situatie verdient het aanbeveling de factoren die het binnenklimaat bepalen in kaart te brengen. Er moet informatie worden ontsloten over de aanwezige installatie, de wijze waarop deze is geregeld, de frequentie van openen van deuren en ramen voor natuurlijke ventilatie, het gebruik van bepaalde lampen en aanverwante zaken. Hiervoor kan het noodzakelijk zijn de intern verantwoordelijke erbij te betrekken, soms echter is de benodigde kennis niet aanwezig en kan worden overwogen een externe adviseur te raadplegen. Vooral daar waar het gaat over complexe systemen, bijvoorbeeld all-air klimaatinstallaties. Vervolgens kunnen in plattegronden van het gebouw of de specifieke ruimte de verwachte afwijkende warme en koude plekken worden aangegeven (bijvoorbeeld arcering met kleur) waardoor een risicoprofiel kan worden opgesteld. Hierbij kan gedacht worden aan:

- Warmtebronnen, zoals lampen, radiatoren, kachels, verlichting, randapparatuur en oppervlakken waarop direct zonlicht valt
- Koude plekken, zoals (dunne) buitenmuren, kelders en enkel glas
- Mogelijke vochtige locaties, zoals garderobe, museumcafé en kelders
- Mobiele klimaatsbeheersingsapparatuur, zoals airconditioningunits, be- en ontvochtigers
- Inblaaspunten voor de klimaatsbeheersing

Wanneer tijdens het winterseizoen wordt verwarmd (en vaak bevochtigd) wijkt het risicoprofiel sterk af van de zomersituatie. Die kenmerkt zich juist door hoge temperaturen en de daaraan gekoppelde wens tot (natuurlijke) ventilatie, vaak door ramen en deuren open te zetten. Daarom ligt het voor de hand voor ieder seizoen een risicoprofiel op te stellen.

In afbeelding 4 zijn twee plattegronden weergegeven. In de zomer (links) wordt bij warm weer een raam geopend (zie blauwe arcering) en soms zelfs bevochtigd (kleine blauwe arcering in de hoek naast de deur). De zon zal de zuidzijde van de ruimte opwarmen, vooral

achter de ramen kan dat leiden tot een lokaal hogere temperatuur (rode arcering). In de winter wordt de ruimte verwarmd door middel van vier radiatoren (oranje rechthoeken), die onder de vensters zijn geplaatst en leiden tot een lokaal hogere temperatuur (rode arcering). Het enkel glas en de buitenwand kunnen significant kouder zijn dan de rest van de ruimte. De bevochtiger zal vocht in de lucht brengen om het binnenklimaat op het gewenste niveau te houden.



Afbeelding 4

Een fictieve historische binnenuimte waarin 's zomers (links) één raam wordt geopend en 's winters (rechts) wordt verwarmd en bevochtigd.

STAP 3 - Wat meten?

Binnenklimaat

Er zijn meetapparaten en dataloggers verkrijgbaar die verschillende aspecten van het (binnen)klimaat kunnen meten en registreren. De traditionele en nog veel gebruikte thermohygrograaf bestaat uit twee pennetjes die op een langzaam roterend papier een lijntje trekken. Het ene pennetje is verbonden aan een asje dat beweegt door krimp of uitzetting van paardenhaar als gevolg van opname of afgifte van vocht en het tweede pennetje is verbonden aan metalen plaatje dat tot een cirkel is verbogen en dat door temperatuurwisselingen krimpt of uitzet. De voordelen van de thermohygrograaf zijn dat de meting direct zichtbaar is en de collectiebeheerder zelfstandig een kalibratie of reparatie kan uitvoeren. Ook dwingt het een medewerker op zijn minst één maal in de week het papier te verwisselen en daardoor de ruimte te bezoeken waardoor er in het bredere verband van risicoanalyse ook andere veranderingen aan de collectie opgemerkt kunnen worden.

Er zijn ook robuuste handmeters verkrijgbaar waarmee de relatieve luchtvochtigheid kan worden gemeten aan de hand van de natte en droge bol temperatuur. Door deze temperaturen te meten en deze vervolgens in een molierdiagram in te tekenen kan de relatieve luchtvochtigheid worden herleid. De temperatuur van de natte bol heeft een relatieve luchtvochtigheid van 100% en de droge bol is de ruimte temperatuur bij de onbekende relatieve luchtvochtigheid.⁷

Met een digitale handmeter kunnen momentopnames van de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gemaakt worden. Met een datalogger kunnen met een gekozen interval meetgegevens worden opgeslagen zodat het verloop in de tijd kan worden gevolgd. Het meest gebruikte type is de logger waarmee de relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur gelijktijdig gemeten kunnen worden⁸. Dit soort metingen wordt dan ook het meest door musea in eigen beheer uitgevoerd. Naast de dataloggers die met een batterij gevoed zelfstandig gegevens verzamelen en opslaan kan ook gekozen worden voor een draadloos monitoringsysteem. Het grote voordeel van digitale loggers is de mogelijkheden voor data-analyse en de grote flexibiliteit waarmee ze kunnen worden ingezet. Het nadeel van

⁷ Slingerpsychrometer is de benaming van het meetinstrument dat de relatieve vochtigheid meet m.b.v deze twee temperaturen. Zoeken op internet, met de zoekterm 'slingerpsychrometer' levert bruikbare hits. Het instrument is betrouwbaar, nauwkeurig en relatief goedkoop. Ook is het instrument geschikt om inzicht te krijgen in de werking van het Mollierdiagram.

⁸ In de publicatie "Dataloggers, vergelijkend onderzoek naar temperatuur en vochtigheidsmeters" van Marc Stappers en Wolter Kragt (2003) wordt nader ingegaan op de verschillende typen loggers.

digitale dataloggers is echter dat collectiebeheerders niet meer zelfstandig kunnen kalibreren en het blijkt in praktijk lastig om te geregistreerde data om te zetten in overzichtelijke en begrijpelijke plaatjes.

Het spreekt voor zich dat het regelmatig kalibreren van de sensoren belangrijk is. Uit de praktijk blijkt de relatieve luchtvochtigheid sensor sneller te driften dan de temperatuursensor. Er wordt aanbevolen de sensoren jaarlijks te laten kalibreren door de leverancier. Thermohygrografen dienen bovendien geregenereerd te worden (tijdelijke bevochtiging van het onderdeel dat de relatieve vochtigheid meet). Vooral thermohygrografen zijn gevoelig voor schokken en kunnen na een schok afwijkende waarden aangeven. Indien er onzekerheid heerst over de meting van een bepaalde logger, bijvoorbeeld omdat er continu een zelfde hoge (of juist) lage waarde wordt geregistreerd, wordt aanbevolen om deze naast een andere logger gedurende 1 tot 2 dagen het klimaat te laten meten en te kijken of beiden dezelfde of afwijkende data tonen. Eventueel kan met een losse gekalibreerde handmeter een vergelijking gemaakt worden. Neem hiervoor wel de tijd; meestal duurt het ongeveer 20 minuten voordat de handmeter is geacclimatiseerd. De meeste meters kennen een toegestane afwijking, meestal gaat het om een toegestane afwijking van 2-3% RV en 2°C (zie de gebruiksaanwijzing van de betreffende meter). Houd hier bij het vergelijken van metingen van verschillende meters rekening mee.

Soms wordt het binnenklimaat beheerst door middel van mobiele be- en/of ontvochtigers. Ook de sensoren in deze apparaten kunnen verlopen en onnauwkeurig worden. Vergelijk de waarden aangegeven op de be- en ontvochtigers regelmatig met losse (hand)meetapparatuur en zorg ook hier voor regelmatig onderhoud en een goede plaatsing van de apparatuur voor een optimaal resultaat.

Naast het meten van de relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur kunnen echter ook andere metingen worden gedaan die bijdragen aan kennis over het binnenklimaat. Dit type metingen wordt meestal niet door erfgoedinstellingen uitgevoerd. Over het algemeen worden deze metingen door professionals gedaan als er een probleem is gesignaleerd met het klimaat dat niet direct verklaard kan worden vanuit de klimaatmetingen. Hierna wordt een aantal besproken.

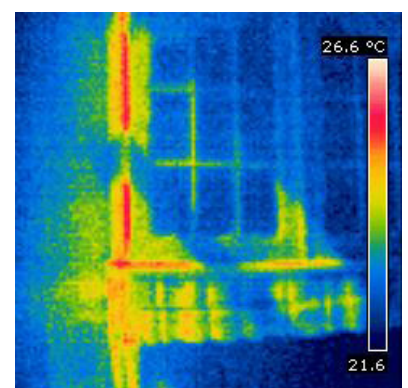
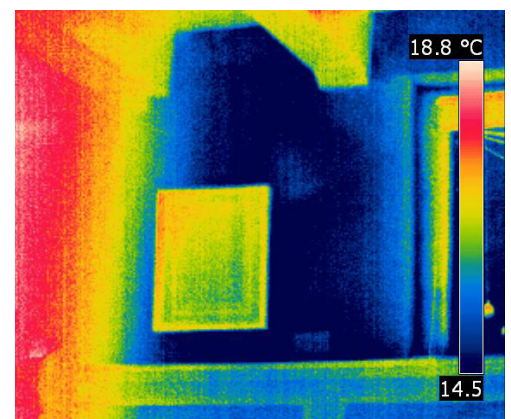
Meten van oppervlaktetemperatuur

In een (museale) ruimte die in de winter bevochtigd wordt tot bijvoorbeeld 50%, resulteert een lokaal lage oppervlaktetemperatuur in een lokaal hoge relatieve luchtvochtigheid. Gebruikmakend van afbeelding 2 kan worden herleid dat in een verwarmde ruimte (20°C) bij een relatieve luchtvochtigheid van 50% (punt A in afbeelding 2) condensatie kan optreden als de oppervlakte temperatuur lager is dan ongeveer 9,3°C (punt E in afbeelding 2). Het risico op schimmel is ook hoog in het voorjaar. Tijdens de zomer worden de zuidoost en zuidwest georiënteerde gevels meer opgewarmd dan de zuid-gevel omdat de zon in het zuiden hoger staat waardoor de horizontale zoninstraling kleiner is. Hoge relatieve luchtvochtigheid en condensatie verhogen het risico op schimmelgroei aanzienlijk. Het is dus belangrijk om te weten waar de (lokaal afwijkende) oppervlaktetemperaturen in een (museale) ruimte voorkomen, zodat gepaste maatregelen getroffen kunnen worden.

Met behulp van een infraroodcamera is het mogelijk om de thermische energie in de vorm van infraroodstraling die een voorwerp uitstraalt zichtbaar te maken en te meten (zie afbeelding 6). Thermische energie is dat deel van het elektromagnetisch spectrum dat we waarnemen als warmte en dat vanwege zijn lange golflengte niet door het menselijk oog kan worden waargenomen. Ieder object straalt warmte uit naar zijn omgeving. Hoe hoger de temperatuur van een voorwerp, hoe groter de hoeveelheid uitgezonden infraroodstraling. Een infraroodcamera meet de stralingsoverdracht tussen oppervlakken en de camera. Met behulp van een kleurenschaal is het vervolgens mogelijk om de verschillende oppervlaktetemperaturen, die door de camera worden berekend, van een infraroodthermogram⁹ af te lezen. Met behulp van deze meetmethode kunnen oppervlakken met een afwijkende temperatuur in een gebouw worden opgespoord zodat met die kennis de beste meetpositie voor een meetinstrument worden bepaald.

Afbeelding 5

Thermische beelden. Boven: een warme binnenwand (rood) naast een koude buitenwand (blauw) in de winter. Onder: direct opvallend lentezonlicht op een houten kast met lokale opwarming van het oppervlak.



⁹ Een foto opgebouwd uit verschillende kleuren die elk corresponderen met een andere temperatuurwaarde.

Voor enkel glas wordt vaak gekozen om midden op het glas, op het kozijn en op de muur naast het raam te meten. Daarmee kan in een koude periode redelijk snel geanalyseerd worden welke temperaturen de verschillende onderdelen van de bouwschil aannemen. Soms is er vermoeden dat de relevante koude oppervlakken uit het zicht dieper in de bouwschil liggen, dan kan het nodig zijn de sensoren in de muur in te brengen, bijvoorbeeld achter lambrisering of nabij opleggingen van een balkkop.

Oppervlaktemeting relatieve luchtvochtigheid

Het vochtgehalte van de lucht aan een oppervlak kan het beste gemeten worden wanneer er geen uitwisseling is met de lucht in de ruimte. Door de meetsensor af te dekken met bijvoorbeeld een verzegelde kop die tegen het oppervlak wordt gedrukt, zal deze meting een indicatie kunnen geven of er zich in de muur of vloer een mogelijke vochtbron bevindt.

Meten van het vochtgehalte in muur/vloeren

Naast de hoeveelheid vocht in de lucht is de kennis over vocht in oppervlakten zoals vloeren en muren eveneens belangrijk om afwijkende plekken in een ruimte te kunnen identificeren. Wanneer op een muur donkere vlekken voorkomen of wanneer verfbleders en blazen verschijnen kan dit duiden op de aanwezigheid van vocht in de materialen. Om het vochtgehalte in een materiaal niet destructief te kunnen meten kan met een vochtmeter een elektrisch veld in het materiaal worden opgewekt. De signaalsterkte wordt beïnvloed door de hoeveelheid vocht in het materiaal. Verschillen tussen meetpunten op het oppervlak duidt op verschillen in het vochtgehalte van het materiaal. Per type meetinstrument kan de diepte van de meting verschillen van enkel het oppervlak tot enkele tientallen centimeters diep in het materiaal. Er dient wel rekening te worden gehouden met het gegeven dat de meting wordt beïnvloed door de aanwezigheid van zouten. Een andere methode is het nemen van boormonsters waarbij het boorgruis wordt gewogen, gedroogd en nogmaals gewogen. Het verschil tussen de wegingen is de hoeveelheid water in het materiaal.

Menselijk comfort

Een belangrijk aspect van het binnenklimaat is menselijk comfort. Het is de reden dat er in de winter wordt verwarmd en in de zomer geventileerd. Ongemak als gevolg van een verkeerd binnenklimaat is vaak een gevolg van hoge luchttemperatuur, hoge oppervlaktemperatuur, lage luchtsnelheid en/of een hoge concentratie CO_2 vaak als gevolg van een lage ventilatie. Er zijn naast de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid nog drie soorten metingen die kunnen worden gedaan om inzicht te krijgen in deze aspecten van menselijk comfort: het ventilatievoud, de luchtsnelheid en het CO_2 gehalte.

Meten van het ventilatievoud

Het ventilatievoud is een maat voor hoe lek een gebouw, ruimte of ander afgesloten volume, zoals een vitrine, is. Het ventilatievoud is het getal dat aangeeft hoeveel keer per uur (of per dag voor zeer afgesloten volumes) de ruimte van lucht wordt voorzien. Daar waar veel mensen samenkomen is een hoog ventilatievoud noodzakelijk om te voorkomen dat de lucht muf wordt.

Het ventilatievoud kan gemeten worden door een zogenaamd tracer-gas in de ruimte in te brengen en de afname daarvan in de tijd te meten. Een veel gebruikt tracer-gas is SF_6 dat alleen met speciale analyse apparatuur kan worden gemeten. Ook kan het ventilatievoud worden bepaald door de afname van CO_2 na een evenement te meten. Als veel mensen in een ruimte bijeen zijn, bijvoorbeeld voor een bruiloft, zal door ademen de CO_2 -concentratie in de ruimte toenemen. Deze kan worden gemeten en de snelheid waarmee de concentratie vervolgens na het evenement afneemt zegt iets over het ventilatievoud. In dit geval fungeren de mensen als natuurlijke bron voor de CO_2 . Een vergelijkbare analyse kan worden uitgevoerd door naar het absolute vochtgehalte te kijken. Als er geen mensen zijn die als natuurlijke vochtbron kunnen dienen zou gekozen kunnen worden om het vocht-

gehalte te verhogen met een waterkoker. Het bijkomende voordeel is dat de hoeveelheid ingebracht vocht redelijk nauwkeurig kan worden vastgesteld.

Metten van de luchtsnelheid

In de ARBO wetgeving wordt aangegeven dat voor menselijk comfort de snelheid van lucht niet hoger mag zijn dan 0,15 m/s. Bij hogere luchtsnelheden wordt de tocht als vervelend ervaren. De snelheid (in m/s) waarmee lucht zich verplaatst kan worden gemeten met een thermische luchtsnelheidsmeter of met een vleugelradanemometer. Met behulp van de luchtsnelheid kan ook de hoeveelheid verplaatste lucht worden berekend. Dit is vooral interessant bij bepaling van koudeval of andere sterke tochtstromen en de prestatie van een klimaatinstallatie.

Door de luchtsnelheid bij een inblaasrooster te meten en deze te vermenigvuldigen met het oppervlak van het inblaasrooster kan worden berekend welk luchtvolume, ook wel debiet genoemd, de ruimte in gebracht wordt.

CO₂-concentratie (koolstofdioxide)

De natuurlijke CO₂ achtergrond concentratie bedraagt ongeveer 350-450 ppm (parts per million). Een goed geventileerde ruimte heeft bij een 'normale' bezetting een CO₂ concentratie die lager is dan 1000 ppm. Daarboven wordt het binnenklimaat voor de mens vaak onaangenaam en onfris. Er wordt een maximale concentratie van 1200 ppm geadviseerd. Het CO₂-gehalte kan met een infrarood sensor in ppm gemeten worden.

Een CO₂-meting kan zoals eerder opgemerkt ook informatie verschaffen over de mate van ventilatie van een ruimte. Uit de exponentiële afname van de CO₂-concentratie, die ontstaat nadat de aanwezige bezoekers zijn vertrokken, kan het ventilatievoud worden berekend.

STAP 4 - Waar meten?

Nu is vastgesteld waarom er wat moet worden gemeten kan gekeken worden naar waar de meetapparatuur kan worden geplaatst. Vaak zijn er beperkingen voor de plaatsing van de datalogger/sensor en is de meetlocatie een consensus tussen het wetenschappelijk wenselijke en het praktisch haalbare. Algemene aandachtspunten voor de plaatsing van de sensoren zijn: dat deze makkelijk en risicoloos te bereiken zijn, het eventueel aanwezige display makkelijk af te lezen is, ze niet makkelijk weg te nemen zijn door derden en, bij radiografische systemen, het signaal van de datalogger goed is.

In het nu volgende worden drie meetstrategieën verder uitgewerkt:

1. de gemiddelde klimaatconditie in een ruimte (of afgesloten volume)
2. een lokaal afwijkende klimaatconditie
3. de klimaatcondities bij de collectie

1. Gemiddelde klimaatconditie in een ruimte

De gemiddelde klimaatconditie van een ruimte bestaat eigenlijk niet omdat er altijd sprake is van afwijkende temperaturen en daarmee van lokaal afwijkende relatieve luchtvochtigheden. De 'gemiddelde' ruimtelijke klimaatconditie is dan ook slechts een indicatie. Om de condities van de lucht in de ruimte te meten, zal men in beginsel in het midden van een ruimte een meetsensor willen plaatsen (bij voorkeur op het kruispunt van de ruimtediagonalen). Als gevolg van beperkingen, zoals de inrichting en het gebruik van de ruimte kan het plaatsen van een meetinstrument in het midden van een ruimte praktisch onhaalbaar zijn. Er zal gezocht moeten worden naar een alternatief. Bij het vinden van een geschikte meetplek voor het meten van het ruimtelijke klimaat moet men met de volgende elementen rekening houden. Plaats het meetinstrument op een manier dat:

- er geen direct zonlicht op valt;
- het niet te dicht bij een warmtebron zoals verwarming of in gebruik zijnde lamp is;
- het niet te dicht bij een inblaasrooster van een installatie is;
- het niet te dicht bij koudeplekken, zoals buitenmuren en beglazingen is;

- het instrument uit tocht- of luchtstromen (zoals op de lijn tussen twee tegenover elkaar openstaande deuren) is;
- het niet op de grond is;
- (museum)bezoekers de loggers niet kunnen meenemen;
- voor buitensensoren geldt specifiek dat de temperatuur van de lucht volgens internationale afspraak van de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) gemeten wordt op een hoogte van anderhalve meter boven een open grasvlakte. De thermometer of de sensor, waarmee de temperatuur wordt waargenomen, staat in een wit kastje met wanden die de vorm hebben van een open jaloezie. Daardoor heeft de wind vrij spel, maar zon en neerslag kunnen niet tot de instrumenten doordringen. Dit is in binnensteden vaak lastig te verwezenlijken er zullen dan alternatieven gezocht moeten worden.

Al deze factoren samen maken het vinden van een geschikte meetplek niet altijd even eenvoudig. Voorbeelden van mogelijk geschikte locaties zijn in of aan een centraal geplaatste lamp die buiten gebruik of er onder als deze wel in gebruik is, of bovenop een kast. Buiten kan gezocht worden naar een schaduwrijke positie, zoals een nis.

2. Lokaal afwijkend klimaat

Wanneer de risicoplekken in een ruimte in kaart zijn gebracht, kan besloten worden om deze afwijkende klimaten verder te verkennen. In geval van thermische afwijkingen, koude en warme oppervlakken en/of plaatsen waar vochtbronnen worden vermoed, kan besloten worden direct in de nabijheid daarvan sensoren te plaatsen. Om enig inzicht te krijgen in het effect dat het microklimaat heeft op bijvoorbeeld het ruimtelijk gemiddelde klimaat kan ook een sensor meer centraal in de ruimte geplaatst worden. Om te zien of er lokaal afwijkende condities heersen moet 'lokaal' met 'elders' of 'algemeen' worden vergeleken. Er is sprake van twee vragen; 1) wat is het lokale klimaat en 2) in welke mate wijkt het af van het gemiddelde.

Typische voorbeelden van microklimaten zijn:

- koude oppervlakken, zoals (dunne) buitenwand, vloeren, dakbeschot onder ongeïsoleerd dak of (enkel)glas
- warme oppervlakken zoals radiatoren, vloeren met vloerverwarming, oppervlakken waar de zon op straalt
- afgesloten volumes zoals verpakkingen, vitrines en microklimaatdozen
- luchtsponw achter een wandbespanning
- luchtsponw tussen radiator en vitrine
- inblaasroosters van klimaatinstallatie

Omdat microklimaten vaak ontstaan door afwijkende oppervlaktetemperaturen wordt de oppervlakte temperatuur ook direct gemeten. De sensor wordt direct op het oppervlak geplaatst. In geval van zogenaamde koudebruggen¹⁰ vindt dit onderzoek plaats om het risico op condensatie en daarmee op schimmel te onderzoeken. Een handig alternatief is om met behulp van een thermische of infrarood camera een oppervlaktetemperatuurmeting uit te voeren. In de winter kan men de door de buitenlucht afgekoelde en de door verwarming opgewarmde oppervlakken zichtbaar maken, terwijl in de zomer juist de warme oppervlakken te zien zijn (afbeelding 5).

Temperatuurstratificatie kan zorgen voor afwijkende klimaten in verticale richting. Warme lucht stijgt op en blijft in de nok van de ruimte hangen, onderin verzamelt zich de relatief koude lucht: er is sprake van een temperatuurverschil over de hoogte van de ruimte. Inzicht in de aanwezigheid (of afwezigheid) van stratificatie kan iets zeggen over de menging van de lucht of het risico op schade aan objecten die zich op grote hoogte bevinden (of wellicht verschillende temperaturen ervaren door hun lengte).

¹⁰ Een koudebrug is een thermische kortsluiting met buiten. In een constructie is een verbinding waarbij 's winters de kou van buiten naar de binnenzijde van de constructie geleid wordt, bv. door vulspecie in een spouwmuur, door een betonnen doorlopende verdiepingvloer en stalen raamkozijnen. Gevolg van de koudebrug is naast warmteverlies vooral condensatie van de waterdamp in de warme kamerlucht.

Bij onderzoek naar specifiek vochtige ruimten kan het niet alleen interessant zijn om verschillende ruimten met elkaar te vergelijken maar ook om te kijken of het mogelijk is de vochtbron te vinden. Als er verdenking is dat een bepaald oppervlak vocht afstaat aan de lucht kan een sensor onder een dampdichte laag, zoals een plasticfolie, aan de wand of op de vloer worden geplaatst, zodat een min of meer afgesloten volume ontstaat. Als de meetresultaten tonen dat onder de folie een hogere absolute vochtigheid heerst dan in de ruimte kan worden geconcludeerd dat het bewuste oppervlak vocht afstaat.

3. Klimaatcondities bij de collectie

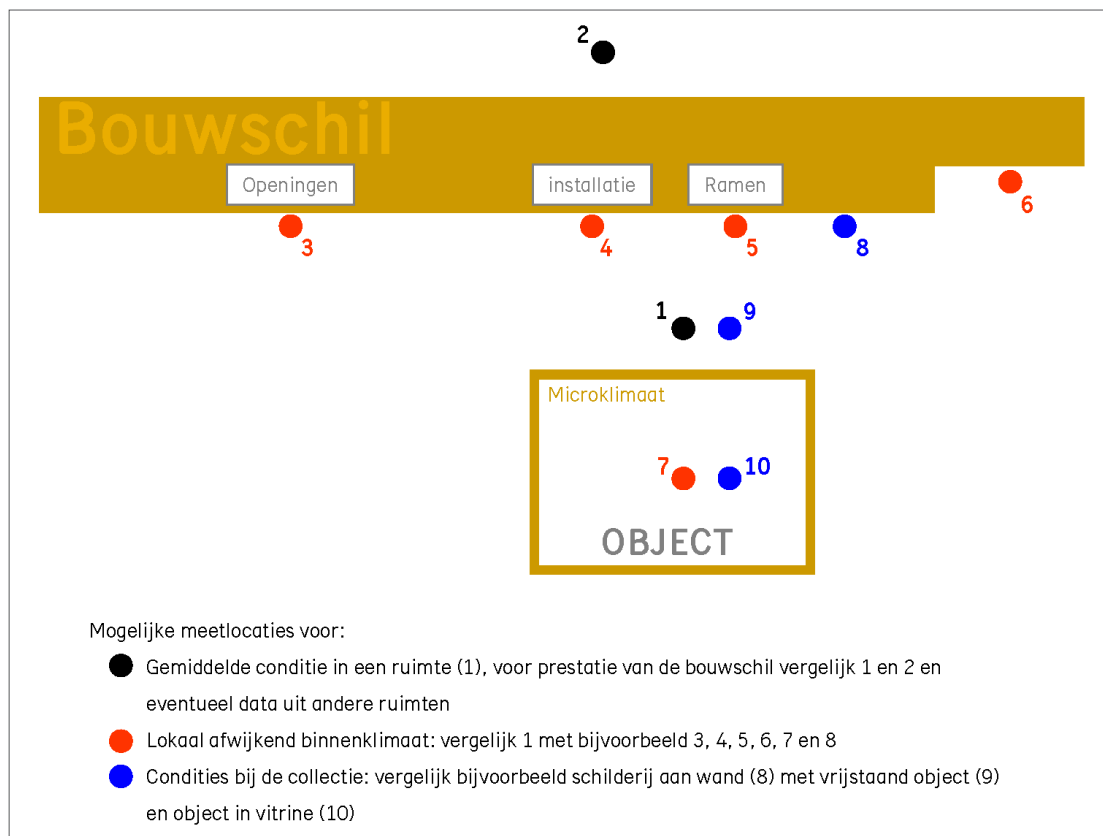
Metingen in musea zijn er in het algemeen op gericht om de risico's van een verkeerd binnenklimaat voor collectie in kaart te brengen. Daarom verdient het aanbeveling om de loggers zo dicht mogelijk bij de objecten te plaatsen. Omdat het aantal museale objecten vaak veel groter is dan het aantal sensoren dat ter beschikking staat en het weinig zinvol en praktisch onhaalbaar is honderden metingen tegelijkertijd uit te voeren zal een keuze gemaakt moeten worden bij welke objecten de meting zal plaatsvinden. Maar hoe kiest men het juiste object?

Omdat het risico op schade afhangt van de periode waarin schade gaat optreden (waarschijnlijkheid) en van de ernst van de schade (effect) ligt het voor de hand een object uit te kiezen dat het meeste effect zal ondergaan. Het effect is opgebouwd uit een materiële verandering, die een gevolg is van hoe kwetsbaar of gevoelig het materiaal en de constructie is en de waardering die we geven aan die verandering; het waardeverlies.

Het ligt voor de hand om te starten met de identificatie van de meest gevoelige (groep) objecten. Zie voor identificatie van kwetsbare groepen stap 4 in de publicatie 'Klimaatwerk'. Omdat de materiële verandering van een object een zeker waardeverlies vertegenwoordigt, verdient het aanbeveling om de keuze voor plaatsing van sensoren verder toe te spitsen op een gevoelig en waardevol object.

Metten van de condities in de nabijheid van objecten betekent meten in de vitrine, in de kast of zelfs in de doos. Zo wordt het reële klimaat rondom het object in kaart gebracht.

Afbeelding 6
Mogelijke meetlocaties voor verschillende onderzoeksvragen.



STAP 5 - Hoe meten?

In de meest ideale situatie wordt gedurende het hele jaar op alle relevante meetlocaties gemeten. Zodoende zou men na slechts één jaar meten alle antwoorden op de onderzoeksvragen kunnen hebben. De realiteit leert ons echter dat er nooit genoeg sensoren zijn en dat er gemeten moet worden met wat voorhanden is. Vaak wordt er voor gekozen de meeste sensoren (of loggers) min of meer permanent in een ruimte te plaatsen en enkele meer gericht en gefaseerd te gebruiken. Het ligt voor de hand om de permanente sensoren in de meest intensief gebruikte museale ruimten te plaatsen en in een of enkele representatieve vitrines. De hoeveelheid sensoren die nodig zijn voor een representatief beeld van het ruimtelijke binnenklimaat in een gebouw hangt af van:

- het aantal (museale) ruimten
- de oriëntatie van de ruimtes (verdieping en bezonning)
- de hoogte van de ruimte(s)
- andere functies in het gebouw (restaurant)

Het wordt sterk aanbevolen enkele loggers niet op een permanente locatie te plaatsen, maar deze flexibel in te zetten om andere aspecten van het binnenklimaat te bekijken. Om deze loggers efficiënt te gebruiken kan een kalender gebruikt worden om verschillende metingen na elkaar te plannen. Zo zullen metingen die seizoensgebonden zijn als eerste ingepland worden, daarna kunnen de metingen ingeroosterd worden die onafhankelijk van het buitenklimaat zijn.

Als er metingen gepland worden die tot doel hebben om juist de verschillen tussen meetresultaten te analyseren wordt aanbevolen deze metingen op het zelfde moment uit te voeren, want vergelijken van klimaatmetingen in verschillende ruimten gemeten tijdens verschillende perioden is vrijwel onmogelijk.

Soms kan één meetlocatie representatief zijn voor een aantal andere. Ruimten kunnen worden gegroepeerd en één vitrine meten betekent bijvoorbeeld inzicht in alle vergelijkbare vitrines. Er kan een keuze gemaakt worden om de slechtste situatie (worst case) of juist de meest optimale situatie (best case) te bekijken.

In het nu volgende wordt iets dieper ingegaan op twee aspecten van de meting: de meetperiode en het tijdsinterval tussen de metingen.

Meetperiode

Hoe lang een meetprogramma duurt, hangt grotendeels af van het doel van de meting. Daarnaast speelt ook hier het aantal beschikbare meetapparaten een rol. Wanneer men de seizoensinvloeden op het binnenklimaat in kaart wil brengen zal idealiter een geheel jaar in de verschillende ruimtes moeten worden gemeten.

Indien meetapparatuur gerouleerd wordt, kan tijdens elk seizoen een korte vaste periode van bijvoorbeeld één week in iedere ruimte worden gemeten. Zodoende is het toch mogelijk om de invloed van de verschillende seizoenen in meerdere ruimtes enigszins in kaart te brengen. Om de meetgegevens vervolgens met elkaar te kunnen vergelijken moet het meetinstrument echter wel steeds op dezelfde plaats in de ruimte worden geplaatst. Het vergelijken van ruimtes onderling blijft lastig, maar effecten van aanpassingen worden wel inzichtelijk.

Een mogelijk meetschema voor een museum met vijf verschillende ruimten en twee verschillende type vitrines (in ruimte 1 en 2) en twee loggers zou er als volgt uit kunnen zien. Hierbij wordt aangenomen dat vergelijkbare vitrines in andere ruimtes zich min of meer hetzelfde gedragen en dus niet gemeten hoeven te worden.

Week	Ruimte 1	Ruimte 2	Ruimte 3	Ruimte 4	Ruimte 5	Vitrine 1	Vitrine 2
1	x	x					
2	x		x				
3	x			x			
4	x				x		
5	x					x	
6		x	x				
7		x		x			
8		x			x		
9		x					x
10			x	x			
11			x		x		
12				x	x		

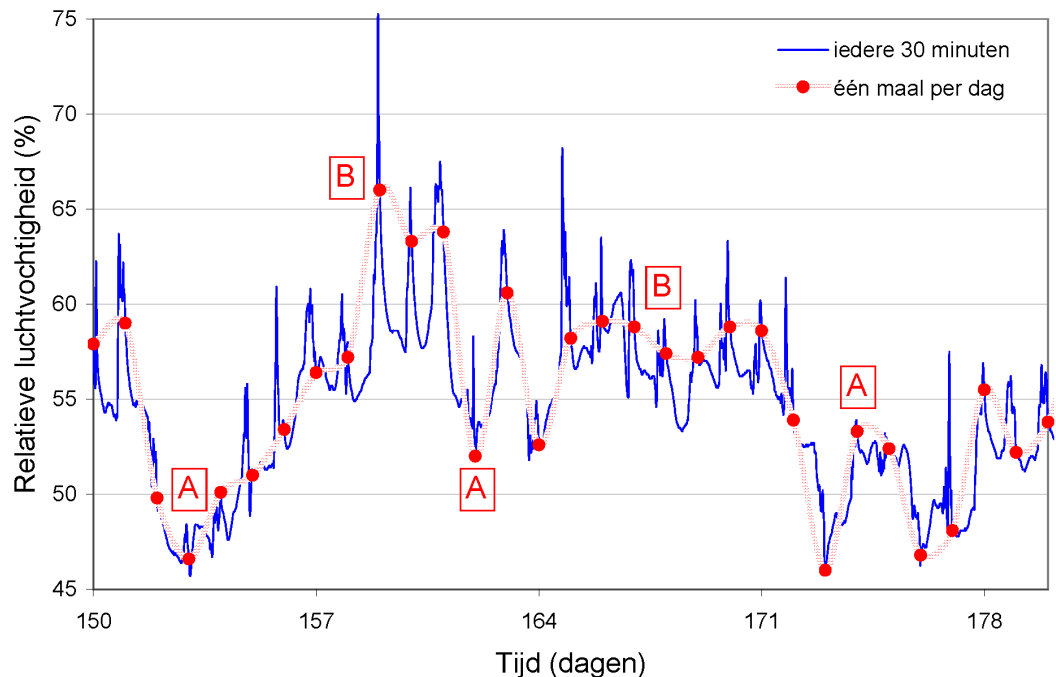
Meetschema om met slechts twee meetapparaten in een seizoen het klimaat in vijf ruimten en twee vitrines te meten.

Dit betekent dat in 12 weken de relaties tussen de verschillende ruimten en vitrines in kaart kan worden gebracht. De cyclus kan dan herhaald worden, of er kan gekozen worden de loggers gedurende langere tijd op één locatie te laten.

De invloed op het binnenklimaat door een bouwkundige ingreep of een andere afstelling van de klimaatsbeheersingsinstallatie of -apparatuur wordt in kaart gebracht door voor en na de aanpassingswerkzaamheden te meten. Het effect van de ene verandering kan echter sneller worden bekeken dan van de andere. Wanneer warmteproducerende lichtbronnen worden vervangen door 'koude' lichtbronnen zal dit effect vrijwel direct meetbaar zijn. De verandering van de gemiddelde luchtcondities in een ruimte door een andere afstelling van de airconditioning zal daarentegen langzamer verlopen.

Afbeelding 7

Het verloop van de relatieve luchtvochtigheid gemeten iedere 24 uur (rode punten) en ieder half uur (blauwe lijn) gedurende 31 dagen. A geeft een maximum of minimum dat bij een 24-uurs meting wordt geregistreerd en B een meer gemiddelde waarde.



Tijdsinterval

Hoeveel metingen moeten worden uitgevoerd in een bepaalde tijd om een reëel beeld te hebben van het heersende binnenklimaat? Indien elke dag op slechts één moment wordt gemeten, zal dit een vertekend beeld geven van het werkelijk heersende binnenklimaat. Soms zal het gemeten punt het maximum of minimum van die dag tonen (A in afbeelding 7), maar soms ook ergens halverwege een fluctuatie (B in afbeelding 7). Met een zeer lange intervaltijd kan dus geen uitspraak gedaan worden over kort durende fluctuaties. Om een goed beeld te krijgen van het binnenklimaat over een hele dag zal met een relatief kort interval moeten worden gemeten (afbeelding 7). Hierbij moet worden opgemerkt dat een logger een eindig aantal meetpunten kan opslaan en dat bij een korte interval tijd dus een kortere periode kan worden bestudeerd voordat de logger moet worden uitgelezen¹¹.

¹¹ Als een logger een opslagcapaciteit heeft van 10.000 datapunten, dan betekent dit dat bij een intervaltijd van 15 minuten gedurende 10.000 x 15 minuten (= 150.000 minuten = 2500 uur = 104 dagen = ±3 maanden) zonder onderbreking data verzameld kunnen worden. Als de intervaltijd naar 1 minuut wordt gebracht kan nog maar ongeveer 1 week gemeten worden.

Bij commercieel verkrijgbare loggers wordt software meegeleverd waarmee de loggers kunnen worden geprogrammeerd en grafieken kunnen worden gegenereerd. Het tijdstip waarop de meting moet beginnen en het tijdsinterval kunnen eenvoudig worden geprogrammeerd. In veel gevallen volstaat een intervaltijd van 10 tot 15 minuten. Kortere intervaltijden zijn interessant als het proces nauwkeuriger bestudeerd moet worden. Bijvoorbeeld het (veranderende) klimaat in een vitrine. Bij een intervaltijd van 5 minuten kunnen zeer kort durende veranderingen ook worden vastgelegd. Hierbij moet worden opgemerkt dat meten met korte intervaltijd niet altijd handig is. Meten met een korte intervaltijd geeft databestanden die zeer groot zijn en dus veel geheugenruimte vragen. Ook is het niet altijd noodzakelijk. Om inzicht te krijgen in de risico's op mechanische schade door fluctuaties van de relatieve luchtvochtigheid moet de snelheid waarmee de objecten vocht opnemen (of afstaan), ook wel responstijd worden meegenomen. Voor een object met een responstijd van bijvoorbeeld een week kan worden volstaan met een intervaltijd van bijvoorbeeld een halfuur of een uur.

De snelheid waarmee veranderingen in het binnenklimaat verlopen, bepaalt met welk interval het beste gemeten kan worden. Bij relatief langzaam lopende processen, zoals de seizoensinvloeden op het binnenklimaat, voldoet het meten met een interval van zo'n 30 minuten. Een aanwezige klimaatinstallatie zal daarentegen soms iedere minuut zelf metingen uitvoeren om vervolgens ook iedere minuut aanpassingen te doen aan de condities van de lucht die de ruimtes in wordt ingeblazen.

Het is bij dataloggers voor temperatuur en relatieve luchtvochtigheid vaak ook mogelijk om een alarmniveau in te stellen voor te hoge of te lage waarden. Is de waarde boven of onder de ingestelde waarden dan gaat er in de meeste gevallen een led lampje branden op de logger. In een grafiek van metingen over een bepaalde periode kan men zien of er veel overschrijding is van de alarminstelling of niet.

Nu het waarom, wat, waar en hoe bekend zijn kan de informatie vastgelegd worden. Het zorgvuldig documenteren heeft verschillende voordelen; het dwingt om precies aan te geven waar men naar op zoek is; het is voor toekomstige beheerders mogelijk de gegevens te gebruiken; het kan een aanzet voor zijn voor een volledige rapportage en externe belanghebbenden krijgen inzicht in de activiteiten die op dit gebied door de instelling worden gepleegd.

Het meetplan

Wanneer door het museum een helder ambitieniveau met betrekking tot het meten en beheersen van het binnenklimaat is vastgesteld, kan een meetplan worden opgesteld.

Hierin komt ondermeer te staan:

- het probleem dat door het verrichten van metingen inzichtelijk moet worden gemaakt;
- het doel van het verrichten van metingen;
- de te meten grootheden;
- de locaties waar gemeten moet worden;
- de vastgestelde eisen voor het binnenklimaat;
- de wijze waarop het meetproces moet worden uitgevoerd (meetperiode en tijdsinterval);
- de wijze waarop de meetgegevens moeten worden opgeslagen;
- de verschillende verantwoordelijkheden/taken;
- de aanwezige kennis binnen een instelling over de totstandkoming van het binnenklimaat.

STAP 6 - Resultaten

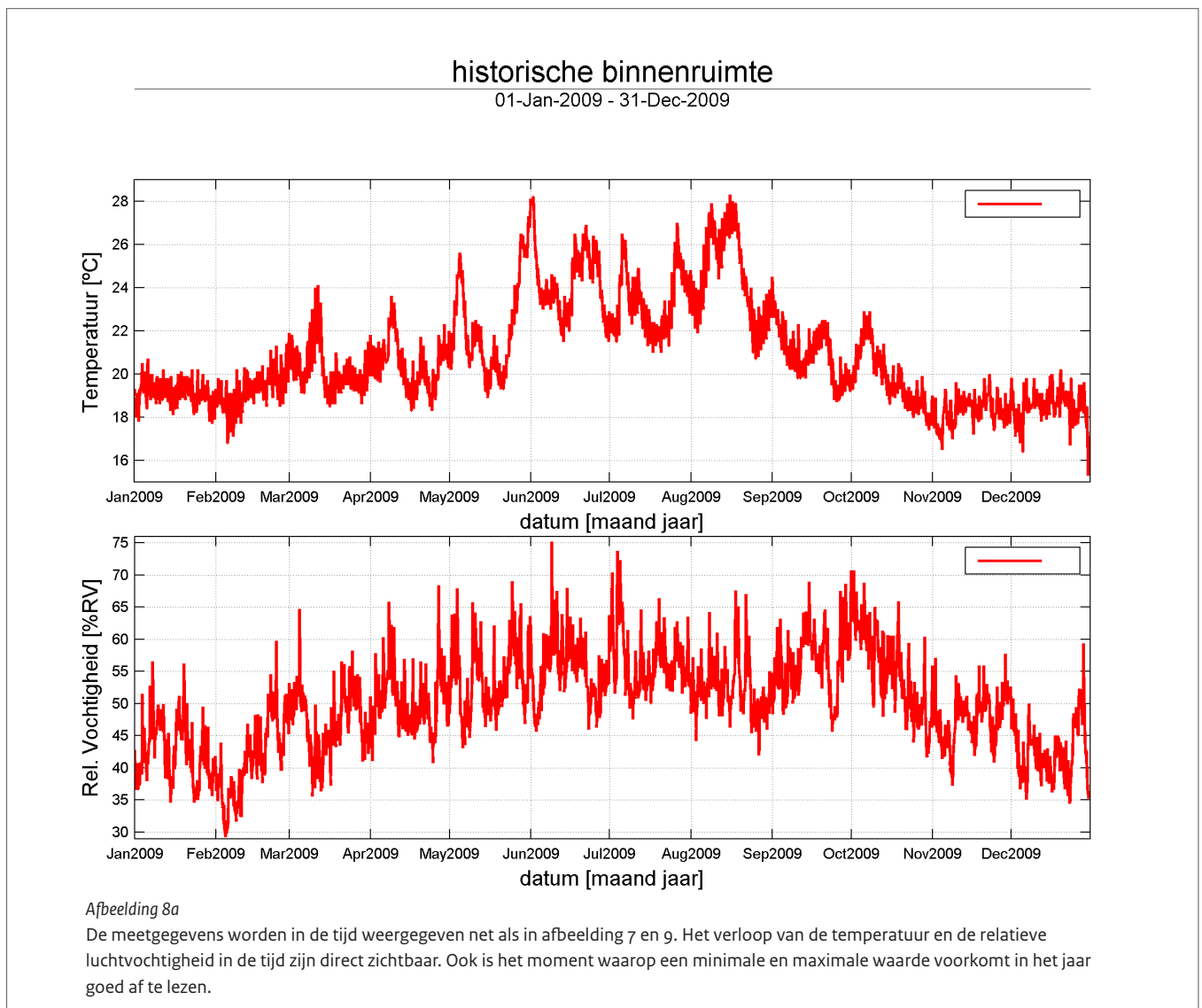
Het verzamelen van meetgegevens heeft alleen zin als deze bestudeerd worden om een antwoord op de gestelde meetvraag te formuleren. De gegevens moeten worden verwerkt in een grafiek, histogram of tabel en vervolgens geïnterpreteerd. Hier wordt volstaan met een eenvoudige introductie tot de presentatie en interpretatie van gegevens. Meer uitgebreide achtergrondinformatie kan worden gevonden in de publicatie 'Klimaatwerk'.

Met behulp van de bij de meetapparatuur meegeleverde software kan eenvoudig een grafiek worden gemaakt. Kennis over deze programma's is echter wel vereist om hier (efficiënt) mee te kunnen werken en het verdient aanbeveling om te oefenen. De meest eenvoudige presentatie van de gegevens is de tijdsplot, waarin de gegevens over een tijdsas worden gepresenteerd (afbeelding 7 en 8a). Een alternatief wordt gegeven door de Technische Universiteit Eindhoven die de mogelijkheid biedt om klimaatdata naar de website te uploaden en vervolgens met de grafiek generator verschillende typen plots te kunnen maken¹². Zo kan er naast de tijdsgrafiek ook een Klimaat Evaluatie Kaart, een zogenaamde KEK (afbeelding 8b) of in een zogenaamde BAR plot (afbeelding 8c) worden gemaakt. Op de website wordt precies aangegeven hoe de gegevens moeten worden ge-upload: in Microsoft Excel worden alleen de temperatuur en relatieve luchtvochtigheidsgegevens in twee kolommen gebracht. Data en tijden moeten worden verwijderd.

¹² <http://www.monumenten.bwk.tue.nl/Algemeen/Applicaties.aspx>

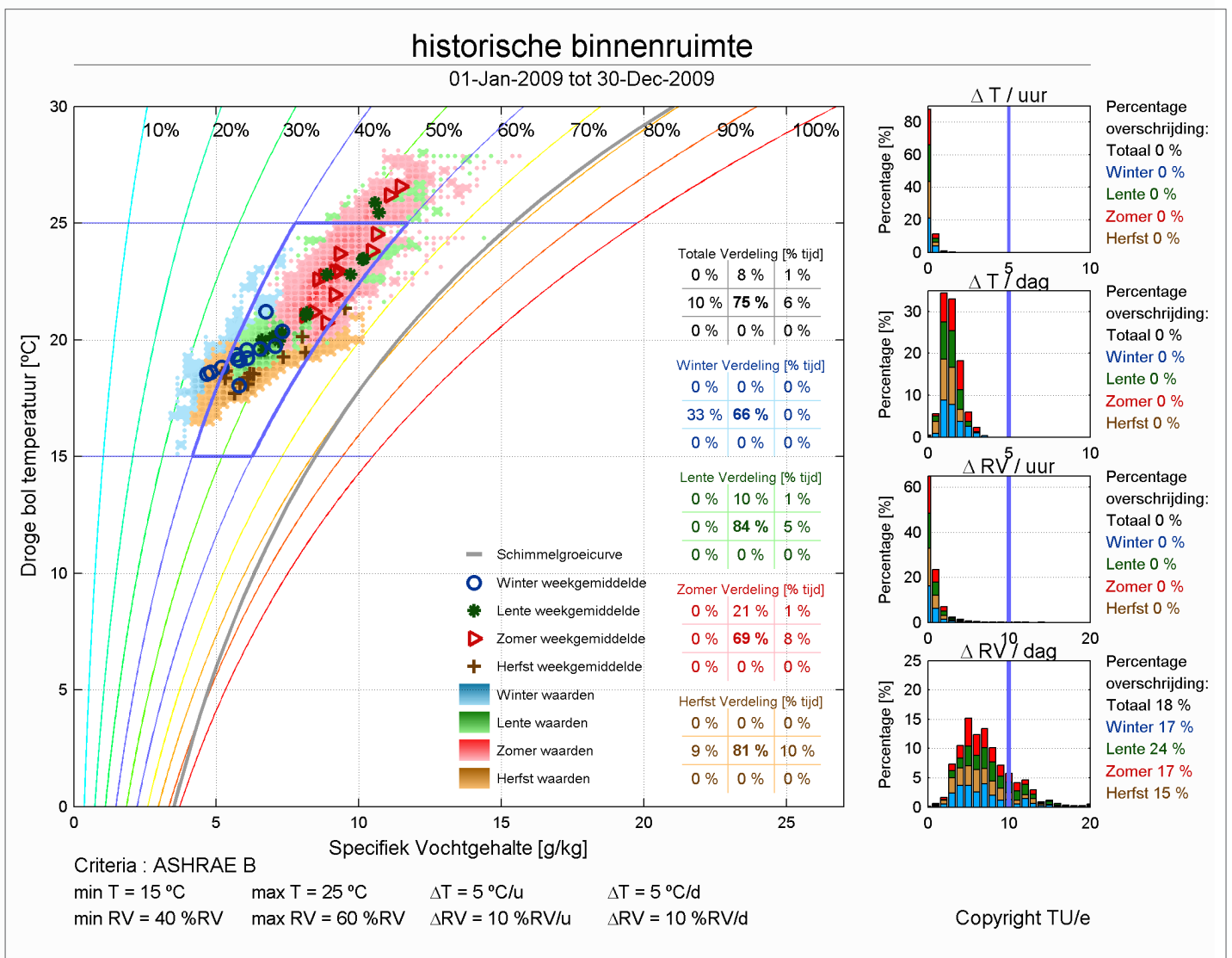
Afbeelding 8 a, b, c

Verschiede mogelijkheden om dezelfde klimaatgegevens weer te geven, hier is gebruik gemaakt van gegevens die gedurende 1 jaar verzameld zijn in een historisch interieur met een interval van 30 minuten.



De wijze waarop meetgegevens worden gepresenteerd kan soms misleidend zijn bij de interpretatie. Door bijvoorbeeld de schaal van een digitale grafiek aan te passen kan een grafiek er soms grilliger of juist minder grillig uitzien. Dit kan soms leiden tot onnodige ongerustheid of juist tot onterechte onbezorgdheid. Men moet vastleggen wat de maximale en minimale waarden zijn, hoe groot bepaalde fluctuaties zijn en hoe snel deze plaatsvinden. Per dag of week zou in een tabel kunnen worden vastgelegd wat de gemiddelde, de hoogste en de laagste waarde is, wat de gemiddelde dag-nacht-fluctuatie over die periode is en bij een jaarmeting wat de gemiddelde seizoensfluctuatie bedraagt.

Het verdient ook aanbeveling om de presentatie van meetgegevens te standaardiseren. Zo kan de relatieve luchtvochtigheid altijd met een blauwe lijn worden weergegeven, de temperatuur met rood en de absolute luchtvochtigheid met groen. Ook kan er voor gekozen worden om dezelfde assen te gebruiken: van 0 tot 100% voor de relatieve luchtvochtigheid en bijvoorbeeld 10 tot 40°C voor de temperatuur. Dit maakt het vergelijken van verschillende afbeeldingen eenvoudiger.



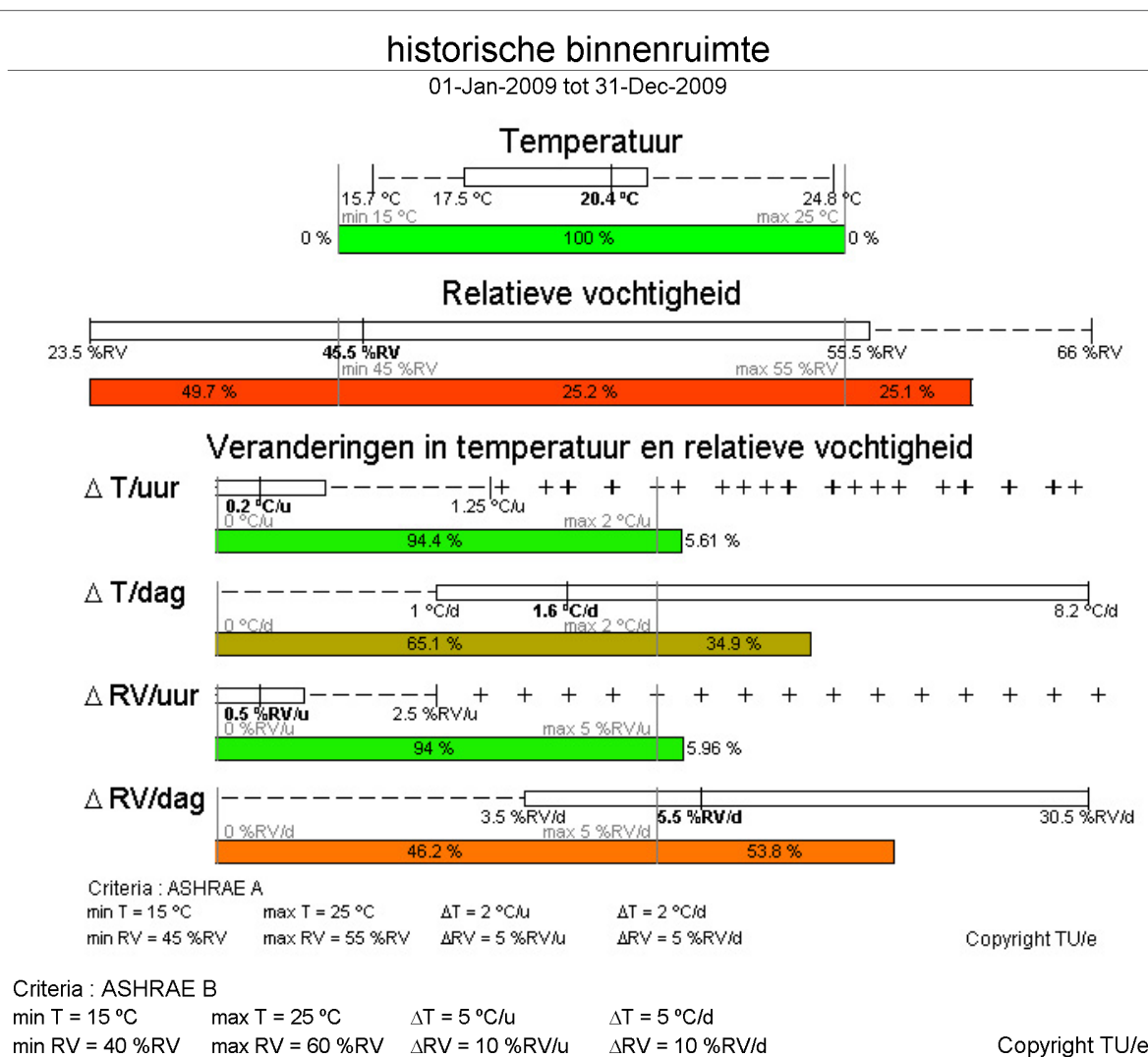
Afbeelding 8b

Met gekleurde puntjes worden de klimaatgegevens van de verschillende seizoenen in een molierdiagram (vergelijkbaar met afbeelding 2) gepresenteerd. De gegevens worden hier vergeleken met klimaatklasse B dat onder de grafiek is omschreven en in het diagram met een blauwe omkadering is weergegeven. De blauwe omkadering verdeelt het molierdiagram als het ware in 9 vlakken: 3 boven, 3 naast en 3 er onder en de omkadering zelf. In de tabellen kan direct gezien worden welk percentage van de klimaatgegevens binnen de centrale cel vallen. Tevens kan worden gezien of het klimaat vaak te warm (bovenste drie horizontale cellen) of te koud (onderste drie horizontale cellen) is. Tevens kan het percentage bepaald worden dat een te lage relatieve luchtvochtigheid heeft (3 verticale cellen links van de centrale cel) of te een te hoge relatieve luchtvochtigheid heeft (3 verticale cellen rechts van de centrale cel).

Aan de rechterzijde worden histogrammen gegeven met daarin de berekende temperatuur- en relatieve luchtvochtigheidsverandering per uur en per dag. De blauwe lijn toont de maximaal toegestane fluctuaties voor klimaatklasse B, waardoor direct zichtbaar is of deze overschreden wordt. De gekleurde tekst rechts van het histogram toont het percentage overschreiding per seizoen.

Met name wanneer de meetgegevens in de tijd worden gepresenteerd, zijn vaak typische patronen zichtbaar die na veel ervaring met het analyseren van klimaatmetingen makkelijk te herkennen en te interpreteren zijn. Veel voorkomende patronen zijn ondermeer een dag- en nachtritme of het typische zaagtandpatroon in de relatieve luchtvochtigheid als een losse bevochtiger in een ruimte staat.

Door de meetgegevens van verschillende meetlocaties samen in één grafiek te plaatsen kunnen onderlinge verbanden makkelijker worden gelegd. Hierbij kan gekeken worden naar de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid maar ook naar de absolute luchtvochtigheid. Deze absolute luchtvochtigheid kan iets vertellen over de toe -of afname van vocht in de lucht (aanwezigheid van vochtbron/vochtput).



Afbeelding 8c:

In de BAR plot is een statistische weergave van de klimaatdata gegeven. De waarden worden voorgesteld als een minimum, maximum (verticale lijnen met getalsaanduiding) en mediaan (middelste verticale lijn met dikgedrukt getal). Van alle gemeten waarden bevindt zich de helft tussen het minimum en de mediaan; de andere helft tussen de mediaan en het maximum. Om de verdeling wat fijner te maken, is een witte balk met een zwart kader getekend. De linker grens is zo gekozen dat 25% van de meetwaarden onder deze waarde liggen. De rechter grens is gekozen zodanig dat 25% van de meetwaarden daarboven liggen. Er ontstaat een kader rondom de mediaan waarin precies 50% van alle meetwaarden te vinden zijn (namelijk vanaf de 25% laagste waarde tot de 25% hoogste waarde). In totaal zijn de meetwaarden nu dus in 4 gelijke delen verdeeld: de zogenaamde kwartielen (0%-25%, 25%-50%, 50%-75% en 75%-100%). De weergave wordt ook wel een box-and-whiskerplot genoemd. De klimaatklasse (hier B) wordt aangeduid met 2 grijze verticale lijnen. De ligging van de box-and-whiskerplot ten opzichte van de klimaatklasse B laat zien of de meetwaarden tussen de richtwaarden blijft of er deels buiten vallen. Het percentage van de meetwaarden dat voldoet aan de richtlijn is berekend en wordt afgebeeld in de kleurenbalk; de kleur komt overeen met het percentage (0% is rood, 100% is groen). Ook het percentage onderschrijding en overschrijding van de richtlijn is gegeven.

Als blijkt dat de klimaatgegevens van de buitenlucht ontbreken maar toch gewenst zijn dan kan gebruik gemaakt worden van de meetgegevens die de KNMI dagelijks verzamelt. Op de website van de KNMI¹³ kunnen maand-, seizoen- en jaaroverzichten en databestanden met tijdreeksen van stations worden gedownload.

Interpreteren van meetgegevens

Voor de interpretatie van de klimaatrisico's voor de collectie is het handig om een grafiek te hebben waarin de data in de tijd kunnen worden bestudeerd (afbeelding 9). Vervolgens kan naar deze gegevens gekeken worden door deze af te zetten tegen de gevoeligheid van de objecten. Voor een precieze analyse van de gevoeligheidsklassen van collecties voor verschillende aspecten van een verkeerd binnenklimaat wordt verwezen naar 'Klimaatwerk'. Hier wordt nu een algemene benadering beschreven.

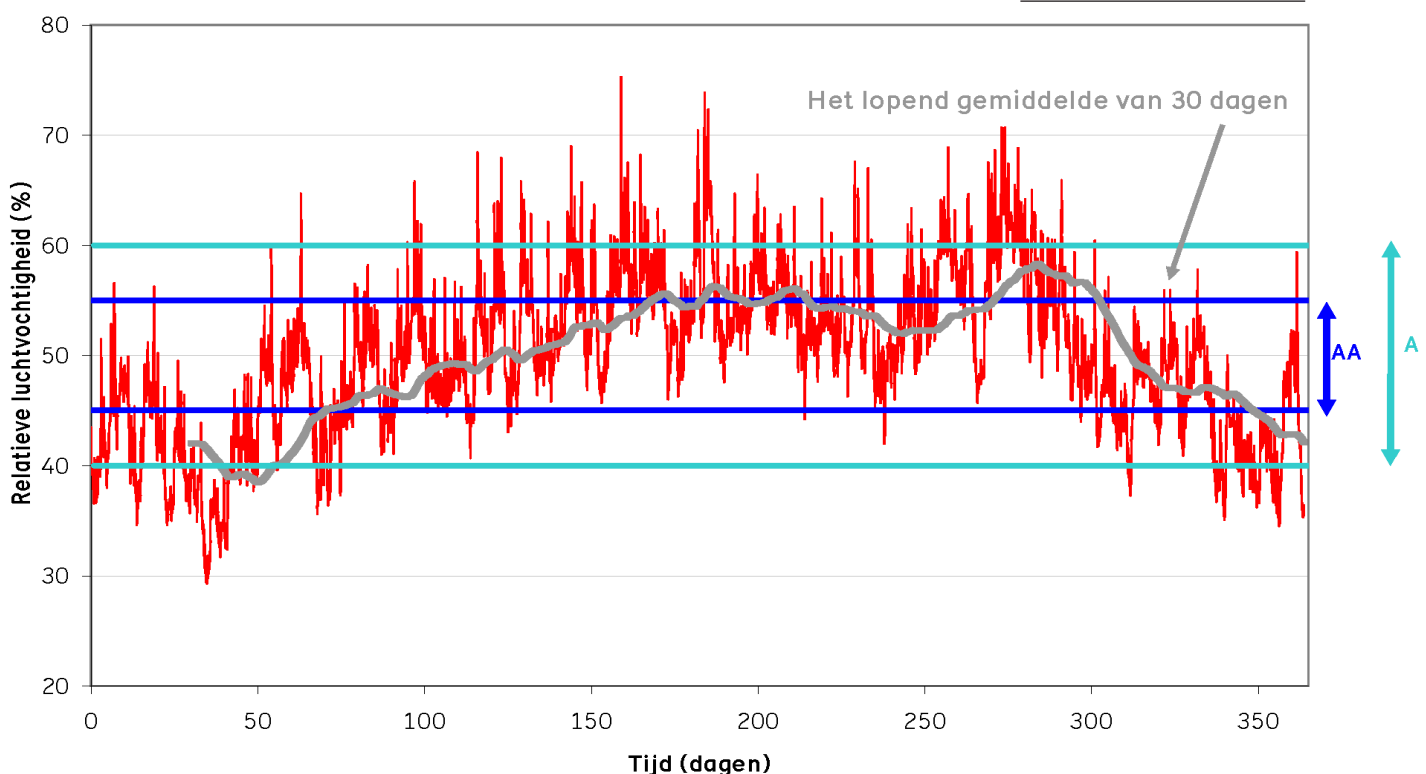
Aan de hand van de (gemeten) temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid kunnen enkele belangrijke risico's worden geïdentificeerd:

- Een hoge temperatuur geeft een versnelde veroudering van chemisch instabiele materialen.
- Bij een relatieve luchtvochtigheid boven de 65% is er een hoog risico voor biologische afbraak (schimmel) en corrosie van metalen. Hierbij moet ook worden gedacht aan condensvorming op koude oppervlakken. Dit is een indicatie voor klimaatrisico's elders in de bouwschil.
- Grote relatieve luchtvochtigheidsfluctuaties die langer duren dan de responstijd van objecten / collectie geven een hoog risico op mechanische schade.

Een hele grove inschatting kan worden gemaakt door grenzen vast te leggen. Zo kunnen de meetgegevens afgezet worden tegen de grenswaarden van de relatieve luchtvochtigheid voor de meest strenge klimaatklasse AA: een maximale fluctuatie van 5% rondom een jaargemiddelde (in dit geval 50%) zonder seizoensaanpassing; zie de donker blauwe lijnen in afbeelding 9. Maar ook tegen een A klimaatklasse: een maximale fluctuatie van 10% rondom een jaargemiddelde (in dit geval 50%) zonder seizoensaanpassing; zie de

13 <http://www.knmi.nl/klimatologie>

Afbeelding 9
De relatieve luchtvochtigheid over een jaar gemeten (rode lijn), het lopend maandgemiddelde (grijze lijn) en de grenswaarden voor een AA klimaatklasse (donker blauwe lijnen) en een A1 klimaatklasse (lichter blauwe lijnen).



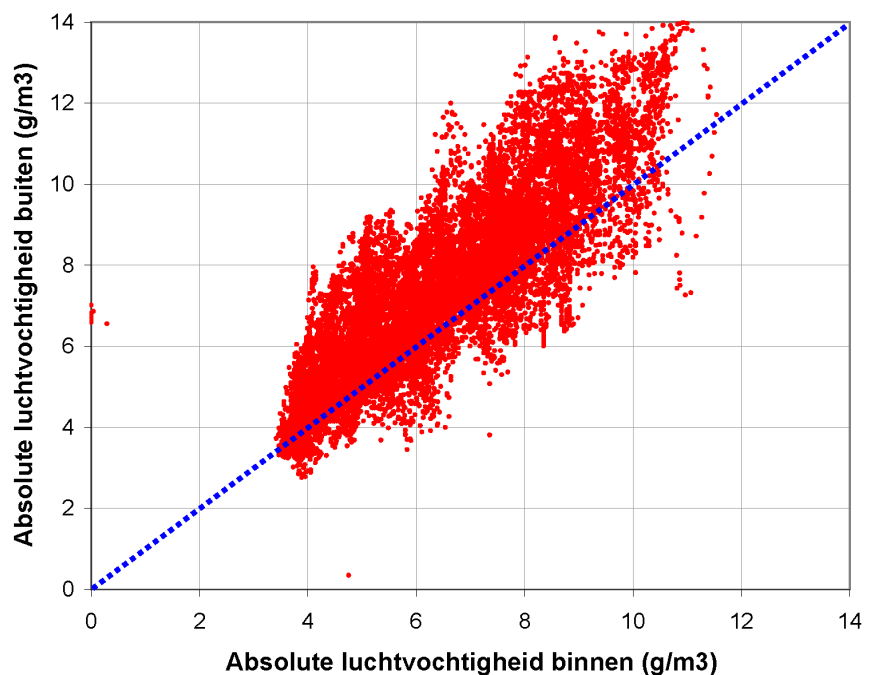
licht blauwe lijnen in afbeelding 9. Als de meetgegevens buiten de gekozen grenzen vallen voldoet het gemeten klimaat niet aan de AA of A klimaatklasse. Voor een schematische weergave van de andere klimaatklassen, bijvoorbeeld A met seizoensaanpassing, wordt verwezen naar bijlage 6 van Klimaatwerk.

Een alternatief is om te kijken naar het klimaat dat daadwerkelijk door een object (of de collectie) wordt ondervonden. In afbeelding 9 is met een grijze lijn de relatieve luchtvochtigheid weergegeven zoals die ervaren wordt door objecten met een responstijd van ongeveer één maand. Dit lopend gemiddelde van een maand geeft voor ieder punt het gemiddelde van de meetwaarden die gedurende 30 dagen daar aan vooraf zijn gegaan. Met behulp van deze lijn kan gekeken worden naar de relevante schommelingen die het object bij volledig evenwicht heeft ervaren en of deze een significant risico opleveren. Hierbij dient te worden opgemerkt dat er bij het kijken naar de evenwichtssituatie voorbij gegaan wordt aan mogelijke oppervlakte reacties die ook kunnen optreden.

Voor bestuderen van een lokaal afwijkend klimaat moeten twee datasets met elkaar vergeleken worden. Ook nu kan een tijdsgrafiek inzicht geven in de verschillen en de mate waarin fluctuaties elkaar 'volgen'. Een alternatief is om een grafiek te maken waarin de absolute vochtigheid van de ene locatie wordt uitgezet tegen de absolute vochtigheid van de andere (afbeelding 10). Als de absolute vochtigheid in beide locatie op dezelfde momenten min of meer hetzelfde zijn dan komen alle punten op één lijn te liggen (in de grafiek de blauwe stippellijn). Als de punten boven de diagonaal (blauwe stippellijn in afbeelding 10) liggen dan is de lucht in de ruimte gepresenteerd op de verticale-as vochtiger dan de lucht in de ruimte gepresenteerd op de horizontale-as. Of er ook sprake is van een afwijkende relatieve luchtvochtigheid hangt uiteraard af van de lokale temperatuur.

Afbeelding 10

Een grafiek waarin de absolute vochtigheid van de ene locatie (hier buiten) tegen de andere (binnenruimte) wordt uitgezet. In dit geval is duidelijk zichtbaar dat de meeste punten boven de diagonaal liggen waar uit blijkt dat de absolute luchtvochtigheid buiten vaak hoger is dan binnen.



STAP 7 - Actie

Nadat de metingen zijn voltooid en geïnterpreteerd moeten de gegevens zo worden gear-
chiveerd dat deze later nog bruikbaar zijn. Het is belangrijk om te onderkennen dat ook na
verloop van tijd de meetgegevens nog steeds van belang kunnen zijn bijvoorbeeld om een
jaargrafiek te kunnen maken of om ontstane schade aan een object te kunnen herleiden.
Omdat software relatief snel verandert en oude bestanden slechts met moeite kunnen
worden gelezen is het verstandig om de data op te slaan als tekst bestanden. Tevens wordt
aanbevolen deze bestanden van een heldere naamgeving te voorzien: ruimte_locatie_
periode.txt.

Vervolgens wordt uiteraard bekeken of de resultaten antwoord geven op de geformuleerde
onderzoeksvraag. Als dat niet het geval is, zal de meting wellicht herhaald moeten worden
of de onderzoeksvraag moet worden aangepast. Indien de verkregen meetgegevens een
antwoord op de onderzoeksvraag mogelijk maken zijn twee acties denkbaar: er hoeft niets
te veranderen want het gemeten (binnen)klimaat voldoet of er moet iets gebeuren, want
de meetgegevens tonen een onwenselijke situatie.

Als er geen probleem is, kunnen de loggers worden ingezet voor nieuwe metingen of
controle dat alles goed blijft. Als er echter wel een probleem wordt geconstateerd zal er
verdere actie nodig zijn. Soms kan met kleine ingrepen al veel bereikt worden, vooral als
het gaat om objecten die niet in tentoonstelling staan. In een depotsituatie is relatief veel
vrijheid voor de keuze van mogelijke maatregelen. Eén van de meest eenvoudige is het
verlengen van de responstijd door objecten te verpakken in dozen, zakken of kisten. Uiter-
aard worden de maatregelen veel complexer als er sprake is van bouwkundige maatregelen,
bijvoorbeeld na constateren van een vochtbron in de vloer. Dan zal er vaak een externe
(bouwkundig- of bouwfysisch)adviseur geraadpleegd moeten worden.

De geanalyseerde meetgegevens kunnen voor verschillende partijen binnen en soms ook
buiten de instelling van belang zijn. Zo kunnen bepaalde stakeholders (directie, gemeente
of provincie) met de verkregen meetgegevens overtuigd worden van het feit dat bijvoor-
beeld het binnenklimaat onvoldoende wordt beheerst met de huidige middelen, een
onacceptabel risico vormt en dat maatregelen genomen moeten worden voor het behoud
van de collectie en of gebouw.

Afsluitend

Het meten van het binnenklimaat is een relevant, maar complex thema; veel geld en tijd
wordt geïnvesteerd om mogelijke risico's van een verkeerde temperatuur en/of relatieve
luchtvochtigheid tot een minimum te beperken. Veel musea vertrouwen min of meer
blindelings op klimaatbeheersingstechniek, zonder dat er enige kennis is over de kwaliteit
van het binnenklimaat. Met deze publicatie is geprobeerd enkele handvatten te bieden
om zelfstandig en zinvol het binnenklimaat te meten. Het is duidelijk dat iedere situatie
vraagt om een specifieke benadering. Er is kennis vereist om de loggers te programmeren,
de verkregen data in een grafiek te verwerken en te analyseren om uiteindelijk inzicht te
verwerven of aanpassingen gewenst zijn of niet. Deze kennis kan worden ontwikkeld en
worden vastgehouden door de verantwoordelijkheid over de analyse van het binnenkli-
maat in een functie binnen de organisatie onder te brengen.

EEN CASUS: meten in kerken

Een bijzondere groep gebouwen, die voor wat betreft volume en klimaatbeheersing een aparte status innemen zijn kerken. Deze gebouwen, met daarin bijzondere interieurs en collecties, vertonen wat betreft het verrichten van metingen aan het binnenklimaat veel overeenkomsten met musea. Naast het beheer van verschillende soorten cultuur historische objecten, zoals schilderijen, zilveren kelken, een orgel en textiel speelt het dagelijks gebruik van deze voorwerpen een belangrijke rol. Het historische kerkorgel speelt daarin een bijzondere rol, doordat het instrument bespeelbaar moet blijven om zijn klankpresentatie te kunnen leveren.

Om het instrument bespeelbaar te houden dienen schades aan de orgelonderdelen, zoals windladen, windkanalen, orgelpijpen te worden voorkomen. Windverlies op enigerlei wijze is funest voor de bespeelbaarheid en/of klankpresaties van een orgel. Een aantal schades aan orgelonderdelen, zoals scheuren in houten pijpen, kanalen en windlade, kan worden herleid tot een schadelijk binnenklimaat,.

Voor bijna alle historische orgels die beschermd zijn, wordt voorafgaand aan een orgelrestauratie door een orgeladviseur een rapport gemaakt waarin vaak ook de technische toestand van het orgel wordt beschreven. Meestal kan daaruit afgeleid worden of het orgel schade heeft ondervonden van het binnenklimaat. In dat geval is het belangrijk te achterhalen hoe het binnenklimaat tot stand komt. Het stappenplan op pagina 6 is dan zeer bruikbaar ook voor deze groep gebouwen.

STAP 1- Waarom meten?

In veruit de meeste gevallen is het binnenklimaat in een kerk en rondom het orgel echter onbekend. Een relatie met het verwarmingssysteem is vaak snel gelegd, maar de precieze relatie tussen de verschillende klimaatparameters en de regeling van de verwarming blijft onbekend. Dit is vaak het argument om een meetprogramma te starten.

STAP 2 - Verzamelen van informatie

Om metingen te kunnen interpreteren is het belangrijk om relevante informatie te verzamelen over:

- De warmtebron, zoals merk, type, capaciteit (vermogen), bouwjaar, etc.;
- Het transportsysteem en warmteafgifte-elementen, zoals kanaaldiameter, radiator-groote, radiatorcapaciteit, etc.;
- De regeling, zoals merk, type, etc., en de instellingen daarvan, zoals basis- of nachttemperatuur, gebruiks- of dagtemperatuur, opstooksnelheid, stooklijn, etc.;
- Plattegronden en doorsneden in verband met de orientatie, bouwkundige opbouw (eventueel ten behoeve van berekeningen in een later stadium door een bouwfysisch of installatietechnisch adviesbureau);
- Het (meervoudig en/of multifunctioneel) gebruik, bijvoorbeeld uit een logboek of reserveringenoverzicht;

STAP 3 - Wat meten?

Om globaal inzicht te krijgen in het binnenklimaat is het meestal voldoende om alleen de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid te meten en te registreren. Voor de verwerking van de meetgegevens dienen de metingen bij voorkeur digitaal te gebeuren. Vaak volstaat het om 'stand-alone' dataloggers te gebruiken die met enige regelmaat (eens per 4 maanden) uitgelezen moeten worden. Op moeilijk bereikbare meetlocaties kan een draadloos systeem uitkomst bieden. In alle gevallen is kalibratie noodzakelijk voorafgaande aan de metingen en daarna ten minste om de twee jaar.

STAP 4 - Waar meten?

In het algemeen is het voldoende om inzicht te krijgen in het globale of gemiddelde klimaat in een orgel of kerkzaal. Slechts wanneer een meer lokaal inzicht in het klimaat gewenst is, zal er bij objecten of bij een warmteafgifte-element gemeten moeten worden. Dit hangt nauw samen met de onderzoeksvraag.

Uit de praktijk blijkt dat meetprogramma's in kerken door hun vergelijkbare bouwkundige opbouw en inrichting veel overeenkomsten vertonen. Een beperkt meetprogramma, dat

eenvoudig in eigen beheer is uit te voeren, bestaat uit een zestal sensoren op een aantal specifieke locaties. Een basisopzet wordt hieronder gegeven. Met name meetlocatie 1, 2 en 4 zijn belangrijke meetlocaties als men slechts over drie loggers beschikt.

No.	Locatie	Omschrijving
1	Buiten	Plaats de logger op een droge plek aan de noordzijde van de kerk. Zorg dat directe zoninstraling de logger niet kan beschijnen. Luchtbewegingen rondom de logger moeten mogelijk zijn, maar de logger mag niet continue in de wind staan. Verder is het belangrijk dat de logger vanuit de straat niet direct zichtbaar en bereikbaar is in verband met diefstal.
2	Orgel	Plaats de logger zo hoog mogelijk in het orgel ter plaatse van de hoogste windlade (bovenwerk), bij voorkeur in het midden. De keuze van de plek wordt hoofdzakelijk bepaald door de bereikbaarheid. Afhankelijk van de grootte van het orgel kan op meerder plaatsen in het orgel gemeten worden. Bekend is dat rugwerken een ander klimaat kennen dan hoofdwerken. Binnen het hoofdwerk kunnen ook weer verschillen optreden als gevolg van de hoogte, waardoor het bovenwerk duidelijk afwijkt van het onderwerk.
3	Object	Plaats de logger zo dicht mogelijk in de buurt van het te onderzoeken object. De ervaring leert dat het vaak lastig is om een geschikt plek te vinden. De keuze wordt hoofdzakelijk bepaald door de bereikbaarheid en veiligheid in verband met diefstal.
4	Kerkzaal	Voor het inzichtelijk maken van de relatie tussen het klimaat in of nabij het orgel en ter plaatse van de kerkbezoekers c.q. thermostaatinstelling is het soms wenselijk om een of meer loggers in de kerkruimte te plaatsen. De keuze wordt hoofdzakelijk bepaald door de bereikbaarheid en zichtbaarheid. Verder is het belangrijk dat de logger de dagelijkse gang van zaken niet hindert. Ervaring leert dat dergelijke loggers daardoor telkens verplaatst worden en de gegevens daardoor onbruikbaar.
5	Warmteafgifte-elementen	Voor het vastleggen van de relatie tussen het stookgedrag en het binnenklimaat is het soms wenselijk om te meten daar waar de warmte wordt ingebracht, zoals luchtinblaasroosters van een luchtverwarming of op de vloer bij een vloerverwarming. Soms kunnen ook indicatieve, momentane metingen.
6	Overige	Afhankelijk van de vraagstelling zullen ook op andere plaatsen loggers geplaatst worden. Zo kan bijvoorbeeld het optreden van condensatie op glas –in-lood inzichtelijk worden gemaakt door op het glas een oppervlaktetemperatuursensor te plaatsen en in de buurt daarvan een logger voor temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Let daarbij op dat het glas-in-lood en de eventuele brandschildering niet beschadigd worden.

Tabel 1

Basisopzet voor een meetprogramma voor kerkgebouwen.

De grootte van de kerk (locatie 5), de grootte van het orgel (locatie 2), de aanwezigheid van een aparte balgkamer, de aanwezigheid van andere bijzondere en kwetsbare voorwerpen, zoals altaarstukken, schilderijen of houten gepolychromeerde beelden (locatie 3), maken soms een uitbreiding van het meetprogramma noodzakelijk.

STAP 5 - Hoe meten?

Het meest ideaal is om een geheel jaar te meten. Zo worden zowel de droge winterse perioden als de vochtige zomerse perioden gemeten. Voor de meeste processen in en rondom een kerkorgel is een meetinterval van een kwartier ruim voldoende. Start alle loggers bij voorkeur te gelijktijd en voorkom dataverlies bij het uitlezen. Verder is het belangrijk om een logboek bij te houden van de activiteiten van de kerk om later de gegevens juist te kunnen interpreteren. Probeer daarin zo specifiek mogelijk te zijn.

STAP 6 - Interpretatie

Bij het interpreteren van de meetgegevens kan getoetst worden aan algemene richtlijnen. Deze zijn gepubliceerd in *Heating Monumental Churches: indoor climate and preservation of cultural heritage*. (Schellen, 2002). Het betreft hier richtlijnen. In de praktijk zal blijken dat het lastig is om de klimaatwensen voor thermisch comfort en conservering van gebouw, interieur en inventaris op elkaar af te stemmen.

No.	Grootheid	Ondergrens	Bovengrens	
1	Gebruikstemperatuur	Luchtverwarming	15°C	20°C
		Infrarood stralingsverwarming	10°C	15°C
		Vloerverwarming		15°C ⁽¹⁾
2	Basistemperatuur	5...8°C	10°C	
3	Relatieve luchtvochtigheid, gemiddeld	45%	75%	
4	Jaarvariatie relatieve luchtvochtigheid		30%	
5	Relatieve luchtvochtigheid, kortstondig	40% ⁽²⁾	90% ⁽²⁾	
6	Dagvariatie relatieve luchtvochtigheid		10%	
7	Opwarmsnelheid		2°C/uur	
8	Luchtsnelheid in verblijfsgebied		0,15 m/s	
9	Temperatuurstratificatie		0,1°C/m	
10	Temperatuurstratificatie, maximaal		2°C ⁽³⁾	
11	Inblaasluchttemperatuur		Gebruikstemperatuur + 25°C	
			45°C	
12	Vloertemperatuur	25°C	28°C ⁽⁴⁾	

Tabel 2
Algemene richtlijnen
voor kerkverwarming
(bron: Schellen, 2002).

1 - Behaaglijkheid wordt bereikt door een combinatie van lucht- en stralingstemperatuur.

2 - Begrensd door middel van een hygrostaat.

3 - Over de hoogte van de kerk.

4 - Beperkt om een te grote convectieve warmtestroom te vermijden.

STAP 7 - Acties

Wanneer uit de analyses blijkt dat het verwarmingssysteem verantwoordelijk is voor de optredende schades, is het zaak om eerst het verwarmingssysteem aan te passen. Dat begint bij het aanpassen van de regeling, soms dienen instellingen gewijzigd te worden, soms is het verstandiger om een regeling aan te brengen dan wel te vernieuwen. Van belang is dat de regeling kan communiceren met de warmtebron. Vaak is dat een verwarmingsketel. Wanneer dit niet het geval is of wanneer de ketel zijn economische of technische levensduur heeft gehad, is het aan te bevelen ook deze te vervangen. In het uiterste geval kan een geheel verwarmingssysteem vervangen worden door een nieuwe. In verband met de kosten dient deze mogelijkheid zich vaak alleen aan bij een restauratie of herbestemming van een kerk.

Het aanbrengen van een bevochttingsinstallatie kan pas overwogen worden wanneer het verwarmingssysteem is geoptimaliseerd en de relatieve luchtvochtigheid nog onvoldoende beheerst kan worden. Er zijn dan twee opties: bevochtiging van de gehele kerk of lokale bevochtiging binnen de orgelkas.

Door de gehele kerk te bevochtigen worden ook alle voorwerpen die zich daarbinnen bevinden bevochtigd. Nadeel is echter dat daarvoor veel vocht moet worden ingebracht dat uiteindelijk kan leiden tot bouwfysische schades. Bevochtiging van de gehele kerk komt daarom niet vaak voor. Bevochtiging binnen de orgelkas heeft als gevolg dat vocht daar wordt ingebracht waar het nodig is. Nadelig is dat er stromend water moet worden ingebracht in een kwetsbaar instrument met het risico van lekkage. Verder kan, wanneer de verdeling van lucht onvoldoende is, plaatselijk een hogere vochtconcentratie zich voordoen met lokale schimmelgroei of corrosie als gevolg. Een goede dimensionering van de bevochtigingscapaciteit is in beide gevallen belangrijk om schade op termijn te voorkomen.

Literatuur

ASHRAE, *Museums, libraries and archives* (Chapter 21), in: 2007 ASHRAE handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning applications, SI edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (2007) p. 21.1-21.23.

Bart Ankersmit, *Klimaatwerk. Richtlijnen voor het museale binnenklimaat*, Amsterdam University Press (2009).

Shin Maekawa, Bart Ankersmit, Edgar Neuhaus, Henk Schellen, Vincent Beltran, *Investigation into Impacts of Large Numbers of Visitors on the Collection Environment at Our Lord in the Attic*, Proceedings of the Conference on Preventive Conservation, Copenhagen Denmark (2007) p. 19-23.

Marco Martens, Jos van Schijndel, Henk Schellen, *Klimaat Evaluatie Kaart: een nieuwe manier voor weergave van het binnenklimaat*, Bouwfysica, vol. 18 (2005) p.34-38.

Marco Martens, *Analyse van het binnenklimaat in een monumentaal gebouw zonder klimaatinstallaties*, Bouwfysica, vol. 18 (2005) p 39-46.

Edgar Neuhaus, Henk Schellen, *Hygrostatisch geregeld verwarmen: beperkte RV-beheersing in monumentale gebouwen*, TVVL magazine, vol. 3 (2007) p. 60-66.

Tim Padfield, *Conservation Physics*, www.conservationphysics.org

Henk Schellen, Bart Ankersmit, Edgar Neuhaus, Marco Martens, *Het verantwoorde binnenklimaat*, TVVL Magazine, 6 (2008) p. 28-38.

Marc Stappers, Wolter Kragt, *Dataloggers, vergelijkend onderzoek naar temperatuur en vochtigheidsmeters* (2003).

Adressen leveranciers meetapparatuur, T-RV-Lux-UV loggers (radiografisch) en handmeters met USB aansluiting

N.B. Bepaalde meetapparatuur is bij meerdere leveranciers te verkrijgen.

Atal B.V.
Einsteinstraat 30-F
1446 VG PURMEREND
Postbus 783
1440 AT PURMEREND
Telefoon: 0299 630 610
Fax: 0299 630 611
Internet: <http://www.atal.nl>
E-mail: info@atal.nl

Askey Nederland
Postbus 362
2350 AJ LEIDERDORP
Telefoon: 071 581 06 10
Fax: 071 581 06 19
Internet: <http://www.askey.nl>
E-mail: info@askey.nl

Bakker & Co
Gildenweg 3
3334 KC ZWIJNDRECHT
Postbus 1235
3330 CE ZWIJNDRECHT
Telefoon: 078 610 16 66
Fax: 078 610 04 62
E-mail: meettechniek@bakker-co.nl

CaTeC B.V.
Turfschipper 114
2292 JB WATERINGEN
Telefoon: 0174 27 23 30
Fax: 0174 27 23 40
E-mail: info@catec.nl

INTAB Benelux
Simon Homburgstraat 9
5431 NN CUIJK
Telefoon: 0485 31 57 34
Fax: 0485 31 57 40

Mulder-Hardenberg B.V.
Westerhoutpark 1a
2012 JL HAARLEM
Postbus 3059
2001 DB HAARLEM
Telefoon: 023 531 91 84
Fax: 023 532 59 32
E-mail: info@mulharnl.com
Internet: <http://www.mulharnl.com>

Sensor Data
Postbus 1111
2280 CC RIJSWIJK
Handelskade 76
2288 BG RIJSWIJK
Telefoon: 070 307 07 36
Fax: 070 307 09 38
E-mail: wittich@xs4all.nl

Adressen leveranciers thermische camera's en CO2 meters

Testo B.V.
Randstad 21-53
1314 BH ALMERE
Telefoon: 036 54 87 000
Fax: 036 54 87 009
E-mail: info@testo.nl

FLIR Benelux
Uitbreidingstraat 60 - 62
B-2600 Berchem (Antwerpen)
België
Telefoon: +32 (0)3 287 87 10
Fax: +32 (0)3 287 87 29
E-mail: info@flir.be

Mera Benelux B.V.
Postbus 77
5056 ZH BERKEL-Enscchot
NEDERLAND
Telefoon: 0135 33 44 11
Fax: 0135 33 20 39
E-mail: merabenelux@cs.com



Metten van het binnenklimaat. Waarom, waar?

Auteurs

Instituut Collectie Nederland

Bart Ankersmit
Agnes Brokerhof
Wolter Kragt

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Marc Stappers

Erfgoedinspectie

Nina Duggen

Rijksgebouwendienst

Jaap de Jonge
Jan Schonewille
Herman Eijdemans

Technische Universiteit Eindhoven

Marco Martens
Henk Schellen

Landelijk Contact Museumconsulenten

Marysa Otte
Judith Tegelaers

© ICN, 2010

Instituut Collectie Nederland
Gabriël Metsustraat 8 | 1071 EA Amsterdam
Postbus 76709 | 1070 KA Amsterdam
T 020 3054 545 | F 020 3054 500

info@icn.nl
www.icn.nl