



## MONITORING EN DIAGNOSE



**Delft, 18 november 2005**

**Editor:**

**D. Van Gemert, R. van Hees H. Schellen**

## Programma

- 09.30            Ontvangst met registratie van de deelnemers.
- 10.00            Opening door Rob van Hees, voorzitter voormiddagsessie.
- 10.10            Doelstellingen en mogelijkheden van monitoring in de monumentenzorg. Europese en internationale initiatieven.  
Koenraad Van Balen, K.U.Leuven
- 10.45            Efficiënt Klimaatonderzoek in Monumentale Gebouwen. Voorwaarde voor passende klimaatbeheersing  
Marc Stappers, RDMZ
- 11.20            Monitoren van het binnenklimaat in rijksmusea.  
Marco Martens, T.U. Eindhoven
- 11.55            Discussie
- 12.15-13.30    Lunch
- 13.30            Wat, waarom, zinvol meten van bouwfysische elementen.  
Kees Snepvangers  
Athene Noctua Binnenmilieu Advies / Injection Nederland b.v.
- 14.05            Diagnose en monitoring met behulp van een expert-systeem:  
MDDS-COMPASS  
Silvia Naldini  
Silvia Naldini Advice / Delft University of Technology
- 14.40            Koffie/Thee pauze
- 15.00            Monitoring van constructieve problemen. Cases.  
Sven Ignoul, Triconsult n.v. / K.U.Leuven
- 15.35            Online meten vanop afstand. Monitoring in het digitale tijdperk.  
Jo Blomme, Stamotec n.v.
- 16.10            Discussie en afsluiting
- 16.20            Borrel, aangeboden door Faculteit Bouwkunde

## Voorwoord

### MONITORING EN DIAGNOSE

Monitoring van monumenten dekt een brede gamma van aandachtspunten. Daarbij wordt niet alleen gemikt op het opvolgen en evalueren van vervormingen, scheuren, vocht en zouten in de draagstructuren en in de muren, maar ook op het binnenklimaat en zijn invloed op het gebouw, de aankleding, het meubilair, de verzamelingen en de gebruikers. Monitoring is het opvolgen van bepaalde gedragsparameters van een monument. Monitoring reikt noodzakelijke gegevens aan voor het opstellen van een correcte en adequate diagnose, die moet leiden tot een zinvolle therapie. Monitoring kan zeer veel informatie opleveren over de gedragingen van het gebouw, maar de vraag moet gesteld worden of al deze informatie wel relevant is, of het echt die informatie is die nodig is voor de diagnose, én of de procedures en methodes die gebruikt worden om de informatie te vergaren wel de meest aangewezen en economisch/financieel meest verantwoorde zijn. De al of niet noodzakelijkheid van therapeutische ingrepen aan of in het monument en de daaraan verbonden kosten, wordt immers afgeleid uit de gegevens van de monitoring.

In tegenstelling tot een technisch onderzoek van de conditie van het gebouw en zijn onderdelen en van de bouwfysische condities in het gebouw, wordt bij monitoring de factor 'evolutie in de tijd' bij het onderzoek betrokken. Dit om onderscheid te kunnen maken tussen cyclische fenomenen, en abnormale gedragingen of reacties van het gebouw op bijzondere invloeden. Deze cyclische fenomenen in gebouwen kunnen verbonden zijn met de cyclische reactie van het gebouw op de dagelijkse of seizoensgebonden schommelingen in de omgeving, of met terugkerende wijzigingen in het gebruik. Dit tijdsaspect noopt tot bijzondere meetprocedures, en vooral tot bijzondere managementsystemen voor de ingewonnen data. De ontwikkeling van de informatietechnologie, gekoppeld aan de ontwikkeling van bijzondere meettoestellen zoals lasertheodolieten en optische vezeltechnologieën, laten toe met een groot gemak over lange periodes te meten, met een voordien ongekende nauwkeurigheid.

Ondanks de technologische evoluties is aan monitoring nog steeds een prijskaartje gekoppeld, dat een degelijke verantwoording ervan noodzaakt. Indien het gaat om monitoring van binnenklimaat om waardevolle artefacten te vrijwaren of om degradatie van de materialen te vermijden, is de verantwoording vrij eenvoudig en snel aanvaard door de opdrachtgever. Als het structurele aspecten zoals scheurvorming of zettingen of vervormingen betreft, ligt het verantwoordingsprobleem soms moeilijker, omdat het terugverdieneffect van de investering in monitoring ligt in het niet moeten uitvoeren of in het uitstellen van consolidatie-ingrepen. Als na de periode van monitoring dan toch blijkt dat consolidatie nodig is, wordt de kostprijs van monitoring snel als een verliespost ervaren. De beslissing om tot monitoring over te gaan, moet dus technisch en economisch verantwoord zijn. Als de schadeorzaken klaarblijkelijk zijn, en het gedrag voorspelbaar, is geen monitoring nodig.

De verschillende sprekers op deze studiedag gaan in op deze veelheid van aspecten bij monitoring van gebouwen en monumenten, als ondersteuning van de diagnose. Zowel theorie als praktijk komen aan bod, waarbij ingegaan wordt op technieken en recente evoluties, hun toepasbaarheid in monumentale gebouwen, hun impact op het restauratiegebeuren.

De studiedag gaat door in de lokalen van de Faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft. WTA Nederland/Vlaanderen dankt de TU Delft voor het ter beschikking stellen van deze lokalen.

WTA NL/VL hoopt op een intense interactie en ervaringsoverdracht tussen sprekers en deelnemers.

Delft, 18 november 2005

Prof. Dr. Ir. Dionys Van Gemert  
Vice-president WTA  
Voorzitter WTA Nederland/Vlaanderen

## Inhoudsopgave

### ***Voorzitter voormiddagsessie: Rob van Hees***

- |                    |   |
|--------------------|---|
| Koenraad Van Balen | Doelstellingen en mogelijkheden van monitoring in de monumentenzorg. Europese en internationale initiatieven. |
| Marc Stappers      | Efficiënt Klimaatonderzoek in Monumentale Gebouwen. Voorwaarde voor passende klimaatbeheersing                |
| Marco Martens      | Monitoren van het binnenklimaat in rijksmusea.  |

### ***Voorzitter namiddagsessie: Dionys Van Gemert***

- |                  |  |
|------------------|--|
| Kees Snepvangers | Wat, waarom, zinvol meten van bouwfysische elementen.                  |
| Silvia Naldini   | Diagnose en monitoring met behulp van een expert-systeem: MDDS-COMPASS |
| Sven Ignoul      | Monitoring van constructieve problemen. Cases.                         |
| Jo Blomme        | Online meten vanop afstand. Monitoring in het digitale tijdperk.       |

# **DOELSTELLINGEN EN MOGELIJKHEDEN VAN MONITORING IN DE MONUMENTENZORG. EUROPESE EN INTERNATIONALE INITIATIEVEN**

## **PLEIDOOI VOOR DE (H)ERKENNING VAN EEN WIJZIGEND CONCEPT VAN ERFGOEDBEHOUD**

**Koenraad Van Balen  
K.U.Leuven**

### **Abstract**

Monitoring heeft een belangrijke technische component die op een competente wijze moet worden ingezet. Daar zal het vandaag grotendeels over gaan.

Deze toelichting heeft willen aantonen dat monitoring maar zin heeft indien het in een beheerstrategie past enerzijds en anderzijds heeft hij willen aantonen dat monitoring, indien goed aangepakt, een gelegenheid biedt om de maatschappelijke betrokkenheid en het draagvlak voor erfgoedbehoud te vergroten.

### **1. Inleiding**

Verschillende leden van de WTA zowel uit Nederland en Vlaanderen als uit andere Europese landen zijn betrokken bij het formuleren van richtlijnen van toekomstig onderzoek in het zevende kaderprogramma met betrekking tot de monumentenzorg in Europa. Deze leden hebben in het verleden bijgedragen tot de ontwikkeling van wetenschappelijk ondersteunde technieken en procedures voor het behoud van het gebouwde erfgoed en daarover is binnen de WTA al meermaals bericht. Op dit ogenblik is een heroriëntering van dit onderzoek bezig en deze wordt op Europees niveau besproken.

Deze bijdrage wil aantonen en onderlijnen dat de formulering van de richting waarin dit onderzoeksprogramma dient te gaan, rekening moet houden met wijzigende concepten die voor het behoud van erfgoed van groot belang zijn. Het lijkt erop dat vandaag de discussie m.b.t. de richting waarin dit onderzoek dient te gebeuren met steun van de Europese Commissie en van de verschillende nationale en regionale autoriteiten aan bloedarmoede leidt. Uit verschillende argumenten die gebruikt worden om de ondersteuning van het wetenschappelijk onderzoek in één of andere richting te sturen, blijkt dat men verkiest wat geweest is gewoon verder te zetten. Deze politiek heeft als positief gevolg dat er een zekere continuïteit wordt verzekerd bij de opbouw van expertise in Europa in et domein van het erfgoedbehoud. Tegelijk bestendigt ze de te grote fragmentatie die er bestaat omdat zoveel mogelijk instituten en partners uit de ruif willen eten waardoor coherentie wel eens zoek is. Daarbij komt eveneens dat, als het om Europese ondersteuning gaat van het onderzoek, het subsidiariteitsprincipe aan Europa (terecht) grenzen legt aan wat ze kan en wat ze niet kan ondersteunen. Dit heeft ertoe geleid dat het Europees onderzoek m.b.t. monumentenzorg in de hoek werd gedrongen van de studie van de omgeving (environment), van het klimaat, van de (lucht)verontreiniging en van de studie van de schade of, zoals dat vooral in het laatste kaderprogramma is gebeurd, naar digitale technologie (het virtuele erfgoed) of de sociale urbane aspecten. Op zijn beurt leidt dit ertoe dat ze de enige vensters dreigen te worden om naar het behoud van het (gebouwde) erfgoed te kijken. Een goed voorbeeld daarvan zijn de recente rapporten die dergelijke studies genereren die ons waarschuwen voor de gevolgen van klimaatverandering op onze monumentenzorgpolitiek, zoals overstromingen door stijging van het zeewaterpeil, tropische regenstormen in Europa... of

de overdreven “virtualisering” van het erfgoed, maar hoever gaat men daarin? Heeft men zich als eens afgevraagd of het wel zin heeft om monumenten te beschermen en te behouden indien de omgeving ervan niet meer bewoond of woonbaar zou zijn? Waar is de band met de zingeverers van monumenten, namelijk wijzelf, mensen uit een bepaalde culturele context waarvan de samenstelling alsmaar meer verscheiden wordt?

Deze bijdrage wil:

- Aantonen dat wetenschappelijk onderzoek m.b.t. monumentenzorg best uitgaat van een “behoud en beheer” concept;
- Dat Nederland en Vlaanderen daar een zeer waardevolle en unieke (institutionele) ervaring in hebben, in het bijzonder met hun respectievelijke Monumentenwacht organisaties;
- Dat een dergelijke benadering inherent verbonden is aan een “monitoring” concept, zoals trouwens erkend wordt in de richtlijnen met betrekking tot beheer van het werelderfgoed en de “monitoring” programma’s die daarover worden uitgeschreven;
- Dat deze benadering eveneens kan leiden tot een grotere sociale betrokkenheid en het genereren van een groter draagvlak (open monumentendagen!);

## **2. Monitoring**

### **2.1. Definities**

Op het gevaar af in herhaling te vallen met enkele andere sprekers lijkt het mij nuttig enkele definities naar voor te schuiven van “monitoring”. Een simpele zoekprocedure op internet toont meteen aan dat dit begrip zowel in de technische wetenschappen als in de menswetenschappen wordt gebruikt.

In een definitie die gegeven wordt door de Belgische Overheid [1] is monitoring “het continue proces van overzicht van de consequente en juiste werking van de interne controlematregelen. Deze monitoring kan door het management zelf gebeuren of uitbesteed worden aan een onafhankelijk orgaan (bijv. audit). Monitoring maakt integraal deel uit van het intern controlesysteem . Bovendien kan het management en het personeel zelf de werking van het intern controlesysteem evalueren via een bepaalde methodiek, Control Self Assessment genaamd (CSA)”.

In “Handreiking Monitor Lokaal Sociaal Beleid” [2] wordt gesteld dat “Monitoring is ook wel te omschrijven als “Het met behulp van kengetallen systematisch volgen van en rapporteren over ontwikkelingen op bepaalde beleidsterreinen”. Monitoring is geen evaluatie. Met monitoring zijn ontwikkelingen te signaleren, maar het levert geen informatie over het hoe en waarom van die ontwikkelingen. Daar is evaluatie-onderzoek de geëigende methode voor. Monitoring en (evaluatie-)onderzoek zijn geen doelen op zich. Het zijn middelen die een specifieke functie hebben in het beleidsproces. Voor input omdat de resultaten bijdragen aan beleidsafwegingen en rechtvaardiging van keuzes en voor output en outcome omdat het inzicht geeft in beleidsopbrengsten en subjectieve beleving van inwoners”.

In een publicatie van het Instituut voor Natuurbehoud [3] wordt gesteld dat “het begrip monitoring, alsook de bijhorende activiteit op dit moment een veel besproken onderwerp is binnen het natuurbeleid en –behoud. In vele gevallen wordt het begrip monitoring echter verkeerd gebruikt. Zo wordt een herhaalde inventarisatie tegenwoordig al snel, maar vaak onterecht, monitoring genoemd. Om verdere verwarring omtrent inventarisatie en monitoring te vermijden, geven we hier de definitie van beide en wijzen we op het onderlinge verschil.

Een inventarisatie omvat het verzamelen van een set van kwantitatieve of kwalitatieve gegevens aan de hand van een gestandaardiseerde procedure, maar zonder enige veronderstelling met betrekking tot wat men verwacht te vinden. Vaak wordt een inventarisatie herhaald in de tijd, teneinde een tijdsreeks te kunnen opbouwen en zo variabiliteit en periodiciteit in een systeem te kunnen detecteren.

Monitoring is het periodiek, herhaald waarnemen en gestandaardiseerd beschrijven van parameters met als doel de overeenkomst met of de mate van afwijking van vooropgezette normen vast te stellen. In dit geval gaat het altijd om een herhaalde verzameling van gegevens doorheen de tijd. Het belangrijke verschil tussen inventarisatie en monitoring is dat het bij de eerste gaat over het vergaren van kennis om een zekere nieuwsgierigheid te bevredigen, terwijl het tweede, monitoring dus, gericht is op een evaluatie. Bij het inventariseren start men zonder enige veronderstelling met betrekking tot het gewilde of verwachte resultaat; men wil gewoon op een zo objectief mogelijke manier informatie verzamelen. Bij monitoring daarentegen is men begaan met het bepalen van limieten of normen en het besluiten wat te doen indien monitoring duidelijk maakt dat de huidige situatie nog ver van de limiet of norm verwijderd is. Het is dan ook niet meer dan logisch dat de resultaten van een monitoring moeten resulteren in actie indien blijkt dat de norm of het streefbeeld nog niet werd bereikt.”

In een meer technische publicatie, waarmee we in WTA wat vertrouwder zijn, over het monitoren van betonnen liggers [4] wordt aangegeven “Van Dale verstaat onder monitoring ‘to monitor’: controleren, toezicht houden. Dit impliceert het optreden van verandering, van een proces dat gevolgd wordt. Om dit te kunnen doen, zijn observaties, metingen aan het proces nodig. Monitoren is daarmee het meten aan een proces teneinde dit proces (of de relevante aspecten daarvan) te volgen”.

Over de reden die bestaan voor het monitoren stelt dezelfde publicatie dat: “In de meest algemene zin is het doel van monitoren om meer informatie te verkrijgen over het proces waarop de monitoring zich richt. Aan monitoren ligt dus een informatievraag ten grondslag. Deze vraag kan optreden in verschillende contexten, bijvoorbeeld:

- a. operationeel: keuzen, beslissingen
- b. wetenschappelijk: valideren, kalibreren, verbeteren modellen, toetsen van hypothesen
- c. juridisch: voldoen aan wettelijke verplichting, verkrijgen van vergunning In dit project ligt de nadruk op de eerste twee contexten: de beslissingscontext en de gevolgtrekkingscontext.

In de eerste context dient de via monitoring verkregen informatie als ondersteuning van bepaalde beslissingen, die moeten worden genomen in tijdens bouw of beheer van de constructie. In de tweede context worden de via monitoring verkregen gegevens bijvoorbeeld gebruikt om ontwerpmodellen, op basis waarvan initiële (betrouwbaarheids)analyses zijn gemaakt, bij te stellen of te toetsen.”

In essentie gaat het om een reeks activiteiten in een proces waarbij het duidelijk is dat die activiteiten leiden tot gegevens die in een toetsingsprocedure worden aangewend. Een toetsingsprocedure kan ook omschreven worden als een model; dat model kan een conceptueel model zijn al of niet ondersteund door een mathematisch (kwalitatief) model. Monitoren staat niet op zichzelf en is deel van een proces, het vergt kennis vooraf en leidt tot beslissingen voor, tijdens en na de start van het monitoringproces.

## 2.2. Monitoring in de monumentenzorg

Er bestaan verschillende methodes die in de Monumentenzorg worden gebruikt en die vallen onder de definitie van monitoring. De domeinen zijn ook in de monumentenzorg even divers als in de hoger aangegeven definities.

Het tellen van mensen die toegang krijgen tot een waardevolle plek, het meten van de belangstelling kunnen op een efficiënte wijze bijdragen tot het monitoren van schade aan waardevolle interieurs of vloeren.

Het vaststellen van verandering (schade) volgens geijkte procedures, bijvoorbeeld gebruik makend van een schadeatlas of van een expertsysteem zoals het Masonry (Monument) Damage Diagnostic System (MDDS), draagt bij tot het monitoren van de invloed van omgevingsfactoren op de bewaringstoestand van monumenten.

Het meten van het binnenklimaat in musea of in historische interieurs draagt bij tot de evaluatie van mogelijke schade. Wanneer het om een controle systeem gaat, draagt het bij te verifiëren dat het gewenste klimaat effectief aanwezig is en blijft zodat een vooropgestelde bewaringstoestand kan worden verzekerd.

In de studie van de stabiliteit van historische structuren kunnen veel voorbeelden worden aangehaald. De meest bekende toepassingen van monitoring, op een historische schaal, is het monitoren van de scheefstand van de toren van Pisa die geleid heeft tot een minimale ingreep en verminderen van de scheefstand. Een belangrijke les in het voorbeeld van de toren van Pisa, is dat de monitoring in feite al eeuwen oud is en dat deze historische gegevens werden gekoppeld aan de met moderne technieken verzamelde gegevens. Deze koppeling heeft het mogelijk gemaakt een beter inzicht te krijgen in het gedrag van de toren in functie van veranderingen in de omgeving in een tijdsruimte die de periode van de “moderne” metingen ver overstijgt. Deze historische gegevens konden maar worden aangewend omdat ze beschikbaar waren, omdat ze eerder werden gepubliceerd en gearhiveerd en ook omdat ze nog leesbaar waren. Zal dat in de toekomst nog het geval zijn met onze digitale “gegevens”?

Aard van de monitoringtechnieken:

Het repetitief karakter van monitoring houdt in dat deze niet destructief of weinig invasief moet zijn, dat is nog belangrijker voor een historisch monument dan voor een meer gangbare constructie. Verder is een belangrijk gegeven dat de nauwkeurigheid waarmee verandering kan worden begrepen afhankelijk is van de nauwkeurigheid waarmee een referentiesysteem kan worden opgezet en kan worden aangehouden (dus ook onderhouden). Dat geldt zowel voor kwalitatieve referentiesystemen zoals voor het meten van zettingen, als voor kwalitatieve systemen zoals het gebruik van schadeatlassen ter verbetering van de terminologische referentie.

De zorg om een minimale impact en het gebruik van monitoring voor, tijdens en na “ingrepen” in monumenten stelt als bijkomende eis dat de verandering zo snel mogelijk moet kunnen worden geïdentificeerd; daarom zijn we op zoek naar het verbeteren van de opzet van betrouwbare referentiesystemen en naar technieken die altijd maar kleinere veranderingen kunnen waarnemen. Een juiste interpretatie van de evolutie van de bewaringstoestand van een monument en dus de studie van de veranderingen vergt uiteraard ook de nodige documentatiesystemen die robuust zijn in de tijd en telkens weer maximaal gebruik maken van de beschikbare technologieën en van het maatschappelijke draagvlak dat ervoor kan worden gemobiliseerd.

Europese projecten zoals het “Onsiteformasonry” project hebben trachten te inventariseren wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van het gebruik van niet-destructieve technieken voor het meten van de “toestand” van metselwerk. Het niet-destructieve karakter daarvan is in de monumentenzorg een grote troef. Het kunnen interessante technieken zijn voor de uitvoering

van monitoring wanneer de gepaste technieken worden gebruikt om bepaalde hypothesen in een (conceptueel) model te verifiëren of een model bij te sturen. Het is bijgevolg belangrijk de plaats van dergelijke technieken in het proces te kennen en te weten op welke wijze ze bijdragen tot het uiteindelijke doel van de conservatie.

Vervormingsmetingen zijn voor de bijsturing van modellen en voor het opvolgen van het structurele gedrag van historische constructies interessante hulpmiddelen. Ze zijn meestal niet-destructief. Voor historisch metselwerk wordt het gebruik ervan voor een stuk ondersteund door de theorieën van J. Heyman [5], dat een structuur die stabiel is dat ook zal blijven mits de premisse van ongewijzigde geometrie blijft gelden. De reële toepassing en het inschatten van veiligheidsniveaus maken dit wel iets complexer. Verschillende van de volgende sprekers zullen dit wel zo dadelijk aantonen.

### 3. Het proces

In het document “Recommendations for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage” van “International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage” staan een aantal principes die behartenswaardig zijn met betrekking tot de evaluatie van het erfgoed en met betrekking tot de plaats van monitoring daarin. In het eerste deel “principles” dat officieel door ICOMOS [6] werd erkend als charter staat vrij vertaald het volgende.

*1.6 De specificiteit van erfgoed structuren, met hun complexe geschiedenis, vraagt om een organisatie van de studies en van de ingreepvoorstellen in een aantal welbepaalde stappen die vergelijkbaar zijn met deze die men in de geneeskunde kent. Anamnese, diagnose, therapie en controle, komen respectievelijk overeen met het vergaren van significante gegevens en informatie, de identificatie van de oorzaken van de schade en van het verval, de keuze van de bewaringsmaatregelen of het herstel en de controle van de effectiviteit van dergelijke ingrepen. Om een zekere efficiëntie te bereiken, om de impact van de ingreep op het erfgoed te minimaliseren en om middelen rationeel in te zetten, is het gangbaar dat een dergelijke studie deze stappen herhaalt in een iteratief proces.*

...

*2.5 De diagnose stoelt op historische, kwantitatieve en kwalitatieve benaderingen; de kwalitatieve methode maakt gebruik van directe waarnemingstechnieken voor het identificeren van structurele schade of schade aan materialen; het maakt eveneens gebruik van historische en archaeologische informatie; de kwantitatieve methode maakt gebruik van proefresultaten op materialen op op structurele onderdelen, monitoring en structurele analyse.*

...

*3.8 Omdat het vaak moeilijk is het echte veiligheidsniveau te kennen of de mogelijke bijdrage van een interventie te kennen, wordt soms een “observationele methode” voorgesteld, die bestaat erin dat op een incrementele wijze wordt ingegrepen, vertrekkend van een minimale interventie waarbij vervolgens aanpassingen, aanvullingen of bijstellingen kunnen gebeuren.*

...

*3.19 Elk interventievoorstel moet eveneens een controle programma omvatten dat, in de mate van het mogelijke, moet worden uitgevoerd van zodra de ingreep wordt uitgevoerd.*

...

*3.20 Maatregelen die niet kunnen gecontroleerd worden mogen niet toegelaten worden.*

...

*3.21 Tijdens en na de ingreep moeten evaluaties en monitoring worden uitgevoerd om de effectiviteit van de resultaten aan te tonen.*

...

*3.22 Alle evaluatie- en monitoringactiviteiten moeten gedocumenteerd worden en moeten bewaard worden als onderdeel van de geschiedenis van de structuur.*

Hieruit kunnen we het volgende besluiten:

Monitoring is deel van het proces dat gekenmerkt wordt door een aantal fazen, die iteratief worden doorlopen, dit draagt bij tot het minimaliseren van de ingrepen wat het behoud van de authenticiteit van de structuur ten goede komt.

Via monitoring verkregen informatie dient als ondersteuning van bepaalde beslissingen, die moeten worden genomen voor, tijdens en na de ingreep, het maakt deel uit van het beheer van de constructie. Via monitoring verkregen gegevens helpen ook een begripsmodellen en ontwerpmodellen die op basis van initiële (betrouwbaarheids)analyses zijn gemaakt, bij te stellen of te toetsen.

Het iteratief proces stelt voorop dat er een continue aandacht wordt gevraagd, dat er een voortdurende dialoog wordt gevoerd tussen opvolgen en ingrijpen, tussen monitoren, bestuderen en ingrijpen. Zodoende past monitoring in een onderhoud en instandhoudingsbenadering die het best wordt geïllustreerd door de activiteiten en werkmethodes van Monumentenwacht.

De lange termijn moet in het oog worden gehouden, bijgevolg moet aandacht gaan naar het archiveren en toegankelijk houden van informatie. Dat laatste werkt wonderwel wanneer de documentatie op papier beschikbaar is (gepubliceerd is en publiek wordt gemaakt), maar de evolutie naar digitale dragers kan hierop een hypotheek leggen.

#### **4. Het “Monumentenwacht”-concept**

Monumentenwacht is een monitoring organisatie. Naast een aantal andere taken die Monumentenwacht in Nederland en Vlaanderen uitoefenen, is het opvolgen van de fysische bewaringstoestand zeker een van de meest prominente taken. Met de jaren is hier een know-how opgebouwd die kan worden verbeterd maar ook verdient om beter gekend te zijn. Het is zeker dat ze tot inspiratie kan dienen voor ander regio's maar ook in het bepalen van aangepaste omvattende werkwijze in de monumentenzorg steunend op het principe van “preventief onderhoud”.

Tijdige identificatie van schade of aanzet tot schade betekent een belangrijke kostbesparing en leidt tot minder drastische ingrepen, wat het behoud van de authenticiteit ten goede komt. Monitoring draagt bij tot de identificatie van schade, schademechanismes en is dus ook kosteneffectief. Indien de monitoring via de rapportering ook in het financieringsmechanisme ten behoeve van de conservatie zijn plaats krijgt, zoals dat het geval is in Vlaanderen, is een bijkomend luik van beheer beschikbaar voor de eigenaar en voor de beleidsinstanties. Inspecties staan ook ten dienste van de kwaliteitsbewaking omdat ook na mogelijke ingrepen de toestand van het gebouw “gemonitord” blijft. Zodoende kan gewezen worden op slechte uitvoering, oneffectieve uitvoering, wordt klein onderhoud uitgevoerd of aanbevolen en kan ook naar middelen voor het remediëren worden gezocht.

Monumentenwacht staat vaak dichter bij de eigenaar of beheerder dan de Monumentenzorgdiensten en via sensibilisering bereikt ze ook nog het grote publiek. Hiermee kan ook het sociale luik van erfgoedbehoud worden versterkt: mensen worden betrokken en zijn

mede verantwoordelijk. Ook dit draagt bij tot monitoren, veel ogen dragen bij tot een betere opvolging.

## 5. Internationale initiatieven

Wanneer UNESCO [7] het over de monitoring heeft van werelderfgoedsites, bedoelt het in eerste instantie dat om de 6 jaar de verschillende regio's van de wereld een verslag moeten uitbrengen van de stand van zaken m.b.t. het daar aanwezige werelderfgoed. Er bestaan daarvoor procedures en "templates" volgens welke dit moet gebeuren. Hierbij valt op dat de monitoring een breed gamma aan invalshoeken omvat, waarbij aandacht wordt gevraagd voor veranderingen in de betekenis (significance) van het erfgoed, hoe het wordt beheerd en welke middelen daarvoor worden aangewend. Het gaat hierbij ook om veranderingen in het wettelijke instrumentarium en tenslotte ook om de betrokkenheid van het publiek, het lokale publiek en de bezoekers. In het rapport wordt ook gevraagd naar toekomstige en geplande ingrepen en beheersaspecten.

Daar waar UNESCO vooral naar staten kijkt als partners en aanspreekpunten is het duidelijk dat in initiatieven die uitgaan van de Raad van Europa, het accent meer ligt op regio's. Hierdoor is er meer oog voor verscheidenheid (alhoewel UNESCO dit aspect zeker onderkent) en voor een benadering van de problematiek die dichter bij de betrokken bevolking staat.

## 6. Besluit

We pleiten ervoor dat toekomstig onderzoek voor het behoud van het gebouwde erfgoed in de Europese Gemeenschap en de lidstaten zich zou toespitsen op de mate waarin het bijdraagt tot de verbetering van het preventieve onderhoud en van monitoring. De werkmethodes en ervaringen van Monumentenwacht in Nederland en Vlaanderen zouden daarbij tot inspiratie kunnen dienen, tevens kunnen deze ervaringen ook helpen om mee te bepalen waar de grootste noden liggen voor het onderzoek.

## 7. Referenties

- [1] [Treasury.fgov.be/interaudnl/Jargon/Jargon.htm](http://Treasury.fgov.be/interaudnl/Jargon/Jargon.htm)
- [2] Handreiking Monitor Lokaal Sociaal Beleid, Opdrachtgever: Ministerie van VWS; Utrecht, 2004, Oberon, [www.oberon-o-a.nl/publicaties/pdfs/handreikinglsb.pdf](http://www.oberon-o-a.nl/publicaties/pdfs/handreikinglsb.pdf)
- [3] M. Van Olmen, S. Vanacker & M. Hoffmann (red.), "Hoe aandachtsoorten en grondwaterstanden opvolgen?", Vademecum ter invulling van artikel 19, punten 4 en 5 van het besluit van de Vlaamse Regering houdende de vaststelling van de voorwaarden voor de erkenning van natuurreservaten en van terreinbeherende verenigingen en houdende toekenning van subsidies, IN.R.2000.3, Instituut voor Natuurbehoud
- [4] M.S. de Wit, P.H. Waarts & A.C.W.M. Vrouwenvelder, "Vergelijking van monitoringstrategieën op basis van HERMES-monitoringsfilosofie Case studie: gewapend betonnen ligger", TNO-rapport 2000-CON-DYN-R2101 (3 november 2000)
- [5] HEYMAN, J. *The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture*, Cambridge university press Cambridge, 1995.  
HEYMAN, J. *Structural Analysis: a Historical Approach*, Cambridge university press Cambridge, 1998.

- [6] Icomos Charter- Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage, (2003), [www.international.icomos.org/charters/structures\\_e.htm](http://www.international.icomos.org/charters/structures_e.htm)
- [7] <http://whc.unesco.org/pg.cfm?cid=118&l=en>

# **EFFICIËNT KLIMAATONDERZOEK IN MONUMENTALE GEBOUWEN VOORWAARDE VOOR PASSENDE KLIMAATBEHEERSING**

**Marc H.L. Stappers**  
**Rijksdienst voor de Monumentenzorg**

## **Abstract**

Met betrekking tot klimaatbeheersing in monumentale gebouwen wordt ingegaan op pertinente vragen, teneinde een onoverzichtelijk meetprogramma te voorkomen: waarom meten; wat meten; waar meten en waar niet; typen meetinstrumenten; meetfrequentie; gebruik van de meetresultaten. De verzamelde gegevens ondersteunen de beslissing tot aanbrengen of aanpassen van een klimaatinstallatie.

## **1. Inleiding**

Bij de Rijksdienst voor de Monumentenzorg komen regelmatig vragen binnen hoe om te gaan met het binnenklimaat in een monumentaal gebouw, al dan niet met een bijzonder historisch interieurs. Deze ogenschijnlijk eenvoudige vraag houdt echter nogal wat in. Het is dan ook zaak om eerst de precieze vraag te definiëren. Daarbij geldt hoe eerder de juiste vragen worden gesteld, des te beter het eindresultaat zal zijn; een resultaat dat past bij de zorg voor monumenten.

Vervolgens is het belangrijk te zorgen voor de juiste gegevens, waarop beslissingen en maatregelen in het restauratieproces, kunnen worden gebaseerd. Een van de methoden daarbij is het binnenklimaatonderzoek in de brede zin van het woord. Maar goed binnenklimaatonderzoek blijkt in de praktijk lastig en ook hiervoor geldt dat ook de basisgegevens, waaronder de metingen goed moeten zijn. Daarover gaat het in deze bijdrage.

## **2. Wanneer ga je meten?**

Een veel voorkomend moment waarbij binnenklimaatonderzoek een belangrijke rol kan spelen is dat waarbij het aanbrengen of aanpassen van een klimaatinstallatie een mogelijk onderdeel uitmaakt of gaat maken van een restauratie. In de praktijk zijn daarin twee situaties te onderscheiden: de minder ideale en de ideale situatie. Bij de eerste komt het inbrengen of aanpassen van een klimaatinstallatie tijdens of zelfs pas na een restauratie aan de orde. Bij de laatste is ruim voor aanvang van een restauratie vastgesteld of het aanbrengen of aanpassen van een installatie nodig en wenselijk is.

### **2.1. De minder ideale situatie**

In de praktijk komt het vaak voor dat de wensen om het binnenklimaat en de daarbij behorende installaties aan te passen en/of te vervangen pas na het afronden van een restauratie aan de orde komen. Dit houdt vaak in dat er geen tijd meer is om een goede basis te creëren waarop beslissingen kunnen worden genomen. In dat geval kan alleen afgegaan worden op de eventueel aanwezige rapporten van voor de restauratie met betrekking tot het object en het huidige gebruik van de klimaatinstallatie. Op basis van de literatuur, onderzoeksrapporten en eigen ervaring kan gezocht worden naar een passende oplossing. Het resultaat kan op allerlei manieren onvoldoende zijn. Dergelijke situaties dienen dan ook zoveel mogelijk te worden voorkomen.

## 2.2. De ideale situatie

In de ideale situatie is reeds ver voordat de restauratie van start gaat bekend dat er wensen zijn om het binnenklimaat en de daarbij behorende installaties aan te passen, te vervangen of in te brengen. De mate waarin aanpassingen nodig zijn, hangt af van de relatie tussen het huidige binnenklimaat en de mogelijk geconstateerde schade aan gebouw en interieur.

Om in te grijpen in het binnenklimaat is het noodzakelijk om vooraf inzicht te hebben in een aantal aspecten:

- Huidige binnenklimaat in relatie tot het buitenklimaat (lange duurmetingen: een jaar of langer)
- Technische staat van object (gebouw, interieur en/of collectie)
- Verwachting van het effect van mogelijke wijzigingen, bijvoorbeeld door simulatie van het te verwachten gewijzigde binnenklimaat

Het behoeft geen betoog dat voor een optimale klimaatbeheersing, zowel voor gebouw, interieur en collectie deze situatie de voorkeur heeft. Beslissingen kunnen op het juiste moment worden genomen, wat de kwaliteit van het eindresultaat, een goed passende en functionerende klimaatinstallatie ingepast met respect voor het monument, ten goede komt.

## 3. Meten

Om efficiënt klimaatonderzoek uit te kunnen voeren moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan. Zo is het belangrijk om te weten wat en waarom je meet. Maar ook om bewust te zijn van de zaken die je niet meet en hoe je daar voldoende inzicht in kunt krijgen.

### 3.1. Definiëren van de vraag

Een veel gebruikte uitspraak wanneer het over meten gaat is: meten is weten. Dit lijkt waar, maar als je niet weet wat en waarom je meet, kan meten tot onjuiste of niet relevante informatie leiden. Beter is daarom: meten is weten, als je tenminste weet wat je meet [8]. Daarnaast is het ook belangrijk om te weten hoe je moet meten om dat wat je wilt weten ook daadwerkelijk te meten. Dat maakt ook direct duidelijk hoe lastig het is om goed en efficiënt te meten en dat het gevaar bestaat om te verzanden in een onoverzichtelijk meetprogramma.

Een van de veel voorkomende problemen is dan ook dat men niet zo goed weet wat of waarom men wil meten. Gaat het bijvoorbeeld om een nieuw aan te brengen installatie of moet een bestaande installatie worden aangepast? Ook is het van belang te weten waaruit het gebouw bestaat. Welke materialen zijn toegepast in een historisch interieur? Is er een bijzondere collectie aanwezig? Al deze vragen bepalen in grote mate het type onderzoek en geven inzicht in de vragen die door dit onderzoek beantwoord moeten worden.

### 3.2. Type meetinstrumenten

Vroeger werd het binnenklimaat veelal geregistreerd met behulp van thermohygrografen, ook wel schrijvende meters of *vogelkooitjes* genoemd. Voordeel hiervan was dat het verloop van luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de tijd direct zichtbaar was. Nadeel is echter dat deze apparaten hun nauwkeurigheid zeer snel verliezen en dat statistische bewerkingen van de meetresultaten bijna niet mogelijk zijn.



**Afb. 1:** Een kleine selectie van het totale aanbod aan meetapparatuur, met rechtsboven het bekende vogelkooitje (foto: R. Crèvecoeur, ICN)

Tegenwoordig zijn er echter elektronische dataloggers beschikbaar met een interne geheugencapaciteit voor duizenden metingen die met behulp van een computer kunnen worden uitgelezen. De betrouwbaarheid is in vergelijking met de thermohygrograaf groot, de meetgegevens kunnen met behulp van een spreadsheet of meegeleverde software worden weergegeven. Statistische bewerking is daarna vrij eenvoudig. De nauwkeurigheid is groot, maar kalibratie is moeilijk zelf uit te voeren.

Het aantal uitvoeringen dat op de markt is, is groot. Sommige hebben lampjes die aangeven of een bepaalde waarde over- of onderschreden is, sommige hebben een display dat de laatst gemeten waarde weergeeft. Ook zijn inmiddels draadloze meetsystemen op de markt, die zelfs op afstand via gsm-verbinding kunnen worden uitgelezen.

### 3.3. Waar meten en waar vooral niet?

Waar je moet meten wordt vooral bepaald door wat je wilt meten. Als het de bedoeling is om tochtverschijnselen vast te stellen moet je wellicht direct onder een raam meten. Wil je de gemiddelde ruimtetemperatuur meten, dan is het beter om dat juist niet onder een raam te doen. Houd dus bij het plaatsen van dataloggers de gedefinieerde vraag in gedachten en de vraag: *“Meet ik wat ik wil meten?”*.

Houd bij het plaatsen van de datalogger rekening met het volgende:

- Meet niet direct in de bundel van kunstlicht of zonlicht, zelfs meten boven een oppervlak dat direct wordt beschenen is af te raden
- Meet buiten het bereik van bronnen van warme of koude straling (bijvoorbeeld vensters of slecht geïsoleerde buitenwanden)
- Meet niet in de convectieve luchtstroom (bijvoorbeeld boven een radiator)
- Meet niet in het buurt van inblaasroosters of in de ingeblazen luchtstroom; geldt ook voor be- of ontvochtigers (tenzij je het effect ervan wil meten)
- Meet bij voorkeur buiten het bereik van personen om schade aan de meetapparatuur te voorkomen.

### 3.4. Hoe bevestig je de meters?

Veel klimaatmetingen kunnen contactloos worden uitgevoerd. Voorbeelden hiervan zijn de luchttemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid. Voor metingen van oppervlaktetemperaturen ligt dit anders. Daarbij is het vaak onvermijdelijk om aan het object te meten. Houdt daarbij rekening met de wijze van bevestigen van de opnemer (sensor). Deze moet wel de oppervlaktetemperatuur meten maar mag het voorwerp niet beschadigen. Dit zal bij de doorgaans gebruikte bouwmaterialen geen probleem zijn, maar voor meer specifieke vragen kan het van belang zijn om op of aan waardevolle objecten te meten (zie Afb. 2). Een

goed alternatief voor momentane metingen van de oppervlakte temperatuur is infraroodthermografie. Met behulp hiervan kunnen contactloos *temperatuurfoto's* worden gemaakt van oppervlaktetemperaturen, vaak gebruikt voor het opsporen van zogenaamde koudebruggen.



**Afb. 2:** Meten van oppervlaktetemperatuur van een schilderij, gekozen is om aan de achterzijde van het doek een oppervlakesensor aan te brengen om beschadigingen aan de werkelijke schildering te voorkomen, de warmteweerstand van het doek is verwaarloosbaar

### 3.5. Logboek

Voor een juiste analyse van het binnenklimaat is het nuttig om te weten welke activiteiten wanneer hebben plaatsgevonden. Door een logboek bij te houden is het mogelijk om achteraf relaties te leggen tussen gebruik en opmerkelijke constatering in de analyse. Het is immers niet de bedoeling om de klimaatinstallatie in te regelen als gevolg van incidenten.

### 3.6. Meetperiode en meetinterval

Metingen leveren over het algemeen veel data op. Voor toepassingen in eigen beheer, waarbij met behulp van bijvoorbeeld Microsoft Excel de gegevens worden verwerkt, is het van belang om de hoeveelheid getallen beperkt te houden, zonder daarbij de gewenste nauwkeurigheid uit het oog te verliezen. Daarvoor is een verstandige keuze van het meetinterval nodig. In principe zijn alle verkrijgbare dataloggers in staat om eens per minuut (soms eens per seconde) tot eens per dag of zelfs nog langer te registreren. Natuurlijk geldt hoe kleiner het interval, des te meer getallen. Kies daarom een verstandig interval dat past bij het te onderzoeken probleem. Bij een overwegend traag en stabiel klimaat kan het interval groter zijn dan wanneer onderzoek wordt gedaan naar tochtverschijnselen. Begin bij twijfel met een klein interval en beslis aan de hand van de resultaten of dit interval groter kan of moet.

### 3.7. Kalibratie

Om een juiste interpretatie te kunnen geven aan de meetresultaten is het belangrijk om te werken met gekalibreerde meetsensoren en deze na afloop van de metingen nogmaals te controleren. Bij langdurig gebruik zal regelmatig herkalibratie nodig zijn. Dit is vooral voor de relatieve luchtvochtigheid van belang. De constructiewijze van de sensor maakt dat kalibratie eens per één à twee jaar nodig is. Dit is ook afhankelijk van de precieze meetlocatie. Op een vuile, stoffige plek zal de sensor sneller vervuilen en is de kalibratiefrequentie hoger.

### 3.8. Grootheden

Tegenwoordig is het mogelijk om allerlei klimaatgrootheden te meten en te registreren. Naast temperatuur en relatieve luchtvochtigheid valt te denken aan:

- Oppervlaktetemperatuur
- Stralingstemperatuur
- Luchtsnelheid (of windsnelheid)

Maar ook:

- Windrichting
- Regenval
- Zonneschijn
- Koolstofdioxide gehalte
- Ventilatievoud



**Afb. 3:** Meetapparatuur voor het meten van zonneschijn of zoninstraling

In sommige gevallen kan zelfs het openen van deuren meegenomen worden in het meetprogramma als aanvulling op het logboek (zie 3.5.).

Een aantal metingen, zoals het meten van het ventilatievoud, vereisen specialistische kennis. Deze is vaak alleen bij grotere meer gespecialiseerde bouwfysische adviesbureaus of onderzoeksinstituten aanwezig.

### 3.9. Typen metingen

In principe zijn drie typen metingen te onderscheiden:

- Indicatief
- Beperkt
- Uitgebreid

In de praktijk blijken met name de indicatieve en beperkte meting geschikt te zijn voor het op eenvoudige wijze vergaren van informatie over het binnenklimaat. Door een beperkt aantal loggers blijft het meetprogramma overzichtelijk en kan eenvoudig(er) in eigen beheer worden uitgevoerd. Het ondernemen van een uitgebreid meetplan, met veel en verschillende sensoren, blijft een zaak voor wetenschappelijke instituten of meer gespecialiseerde bouwfysische adviesbureaus.

#### 3.9.1. *Indicatieve meting*

Het doel van indicatieve metingen is het vaststellen van de orde grootte van bepaalde grootheden. Een indicatieve meting kenmerkt zich door het feit dat meestal met één meetinstrument gemeten wordt.

#### 3.9.2. *Beperkte meting*

Het doel van een beperkte meting is het op eenvoudige wijze vaststellen van enkele grootheden in relatie tot het buitenklimaat en het verwarmingssysteem. Het aantal meetinstrumenten is beperkt, doorgaans minder dan tien, afhankelijk van de grootte van gebouwen of object.

#### 3.9.3. *Uitgebreide meting*

Een uitgebreide meting is een uitgebreide versie van beperkte metingen. Vaak met meerdere meetinstrumenten voor temperatuur en relatieve luchtvochtigheid om bijvoorbeeld de stratificatie in kaart te brengen. Vaak worden ook andere meetgrootheden in het meetprogramma meegenomen (zie 3.8.)

### 3.10. Keuze van type meting

De keuze voor een van de meetprogramma's is sterk afhankelijk van de vraag of het probleem. Zo zal een onderzoek naar de invloed van tocht zich wellicht alleen toespitsen op die plaatsen waar het probleem zich voor doet en zal een onderzoek naar de effecten van het aanbrengen van luchtbevochtiging zich eerder op (een deel van) het gebouw toespitsen. Ook het aantal meters is maatgevend voor het type meting. Veel sensoren leveren al snel een uitgebreid meetprogramma op en het is daarmee lastiger om dat in eigen beheer uit te voeren. Ook de te meten grootheden bepalen het type meting. Wanneer het noodzakelijk is om andere grootheden te meten dan alleen temperatuur en relatieve luchtvochtigheid dan geeft dit meestal al aan dat het probleem complex en groot is. Veelal is het dan zaak om een gespecialiseerd bouwfysisch adviesbureau in te schakelen. Zij hebben de kennis en ervaring die nodig zijn om de verschillende sensoren op de juiste plaats te installeren en de resultaten daarvan te bewerken.

In principe is het voor iedereen mogelijk om zelf een indicatief of beperkt meetprogramma op te zetten en uit te voeren. Daarbij is het wel van belang om de in hoofdstuk 3 genoemde punten in acht te nemen. De kwaliteit van de eigen metingen wordt daardoor verbeterd en analyse is meer eenduidig en eenvoudiger. Het analyseren is in principe ook zelf te doen. In diverse bronnen [2], [3] en [5] zijn voor allerlei materialen en type gebouwen richtlijnen te vinden waaraan het binnenklimaat moet voldoen. Met behulp van bijvoorbeeld een spreadsheet programma is dit redelijk eenvoudig zelf te doen.

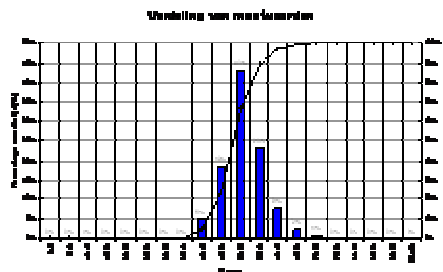
## 4. Gebruik van meetresultaten

Metten heeft alleen zin wanneer je met de resultaten ook iets doet. Veel voorkomende mogelijkheden zijn:

- Meetgegevens analyseren en toetsen aan richtlijnen.
- Meetgegevens gebruiken als invoer voor validatie van computermodellen.
- Meetgegevens die onderdeel uitmaken van de invoer voor een gebouwbeheersystemen (gbs).

### 4.1. Analyseren van meetgegevens

Om te kunnen beoordelen of een bepaald binnenklimaat schade kan veroorzaken aan gebouw, interieur of collectie is het toetsen van meetresultaten aan bepaalde richtlijnen of eisen een handig hulpmiddel. In de loop der tijd zijn er tal van klimaateisen geformuleerd [2], [3] en [5] en zijn meetgegevens op veel verschillende manieren inzichtelijk gemaakt.



**Afb. 4:** Voorbeeld van een wijze waarop meetgegevens kunnen worden gepresenteerd: verdeling van de meetgegevens als percentage van de tijd ten opzichte van bepaalde klassen

Gebruik bij het vaststellen van oorzaken het logboek (activiteiten en duur) en meetgegevens van het buitenklimaat (gelijktijdig gemeten met het binnenklimaat).

#### **4.2. Invoer voor validatie**

Om invloeden of effecten van verschillende maatregelen op een bestaand gebouw inzichtelijk te maken of te voorspellen, zonder daarbij daadwerkelijk in het gebouw in te grijpen, zijn verschillende computersimulatieprogramma's voor handen. Naast het feit dat al deze modellen expertmodellen zijn, is het voor een nauwkeurige weergave van de werkelijkheid van belang dat de resultaten van het rekenmodel overeenkomen met de werkelijkheid. Meetgegevens van binnen- en buitenklimaat kunnen ingezet worden om het model te valideren.

#### **4.3. Invoer voor gebouwbeheersystemen**

Tegenwoordig worden steeds meer gebouwen voorzien van klimaatinstallaties. Ook monumenten worden steeds vaker voorzien van dergelijke installaties [6]. Voor het aansturen van deze installaties wordt gebruik gemaakt van sensoren (thermostaten en ook steeds vaker hygrostaten).

Ook losse be- en ontvochtigingsapparatuur kan middels dergelijke sensoren worden aangestuurd. Sensoren in de ruimte zijn aangesloten op een gebouwbeheersysteem dat aan de hand van de gemeten waarde een be- of ontvochtiger in of uitschakelt.



**Afb. 5:** Het aansturen van be- en ontvochtigers met behulp van sensoren aangesloten op een gebouw-beheersysteem

#### **5. Tot slot**

De veel gehoorde uitspraak: meten is weten is maar gedeeltelijk waar. Op de eerste plaats moet bekend zijn waarom gemeten moet worden en daarnaast vooral hoe. Een goed begin is in ieder geval het halve werk. Wanneer de basis voor het klimaatonderzoek goed is voorbereid, zijn fouten te voorkomen. Door een aantal stappen consequent te volgen, zal de kwaliteit van de (eigen) meting vooruit gaan en is analyse van de meetresultaten gemakkelijk(er) uit te voeren. Hierdoor kunnen beslissingen en maatregelen ten aanzien van het aanbrengen of aanpassen van een klimaatinstallatie op grond van objectieve gegevens doelmatig worden uitgevoerd.

## 6. Referenties

- [1] Berkhout, J.G., B.A.H.G. Jütte en W.H.P. Scholten, Meten is weten, over belang en gebruik van de thermohygrograaf, Tilburg, Landelijk Contact Museumconsulenten, december 1991, LCM-publicatie 3
- [2] Diversen, Syllabus bij de basiscursus Behoud en Beheer: preventieve conservering, Amsterdam, Landelijk Contact van Museumconsulenten, 2002.
- [3] Kelter, S.L., W.P. Lull, W.B. Rose, S. Michalski, A.M. Zhivov, ASHRAE Applications Handbook (SI-Edition), 2003, Museums, Libraries, And Archives, Chapter 21
- [4] Padfield, Tim, Dataloggers for climate measurement in museum and in transport cases, Kopenhagen, The national museum of Denmark, maart 1997
- [5] Schellen, H.L., Heating monumental churches, Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven, 2002
- [6] Stappers, Marc, Beheerst beheer, uit: Praktijkboek Instandhouding Monumenten, Den Haag, Sdu, 2003
- [7] Stappers, Marc, Wolter Kragt, Dataloggers: vergelijkend onderzoek naar temperatuur- en vochtigheidsmeters, Zeist/Amsterdam, Rijksdienst Monumentenzorg/ICN, 2003
- [8] Loomans, Marcel, The Measurement and Simulation of Indoor Air Flow, Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven, 1998

# **MONITOREN VAN HET BINNENKLIMAAT IN RIJKSMUSEA**

**Marco H.J. Martens, Jos (A.)W.M. van Schijndel & Henk L. Schellen**  
**Technische Universiteit Eindhoven**

## **Abstract**

Voor het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen (OC&W) is een onderzoek verricht naar het binnenklimaat in drie rijksmusea. Hierbij is geprobeerd in elk van de drie musea het binnenklimaat zo goed mogelijk te registreren. Hiervoor is een nieuw, draadloos meetsysteem opgebouwd. Dit systeem is volledig geautomatiseerd.

Ook is een internetpagina aangemaakt, waarop de gemeten data, uitgewerkt in overzichtelijke grafieken, rechtstreeks zichtbaar zijn, zowel voor medewerkers en directie van de musea, de Inspectie Cultuurbezit als voor de bij het project betrokken studenten en onderzoekers.

## **1. Inleiding**

De ICB, de Inspectie Cultuurbezit, onderdeel van het Ministerie van OC&W, is de instantie die toezicht houdt op de rijkscollectie in Nederland. Doel is controle van beheer en behoud van de objecten die in de musea bewaard worden. Eenmaal per jaar wordt elk rijksmuseum uitgebreid bezocht en onderzocht door inspecteurs van de ICB. Aspecten van actieve en preventieve conservering worden bekeken. Hierbij wordt het binnenklimaat momentaan geregistreerd door in een aantal ruimtes luchttemperaturen, relatieve luchtvochtigheden en verlichtingssterkten te meten.

In sommige van de onderzochte gevallen bleken klimaatgerelateerde schades aan gebouw en museale objecten te zijn ontstaan.

In opdracht van de ICB heeft de TUE van september 2003 tot december 2005 een uitgebreid onderzoek naar het binnenklimaat in verschillende typen musea verricht. Het doel van dit onderzoek was het ontwikkelen van een methodologie voor het beoordelen van het binnenklimaat. Dit onderzoek bestond uit het monitoren van drie rijksmusea. Voor elk museum is dezelfde werkwijze gevolgd. Deze werkwijze is als volgt.

### **1.1. QuickScan**

Er wordt een eerste bezoek gebracht aan het museum. Een gesprek met de directie en het personeel, een rondleiding door het museum en enkele indicatiemetingen geven enige informatie om het museum in te kunnen schatten.

### **1.2. Gebouwanalyse**

Een meer uitgebreide inventarisatie vindt plaats aan de hand van bouwtekeningen en bestek. Wanneer de tekeningen en/of het bestek niet compleet zijn, wordt tijdens een tweede museumbezoek het gebouw beter in kaart gebracht.

### **1.3. Installatieanalyse**

Eenzelfde inventarisatie vindt plaats op installatiegebied. De tekeningen en het bestek geven uitsluitsel over de aanwezige componenten, de regeling dient ook weergegeven te

zijn in het bestek. Ook het gebouwbeheersysteem (GBS) kan een hulpmiddel zijn bij de beeldvorming.

#### **1.4. Incidentele metingen**

Naast de al genoemde indicatiemetingen worden ook andere incidentele metingen uitgevoerd. Deze metingen hebben betrekking op in de tijd constant te veronderstellen grootheden (ventilatievoud, ZTA-waarde), worstcase condities (infraroodopnamen op een koude dag) of dienen als uitgangspunt voor de langeduurmetingen.

#### **1.5. Permanente metingen**

De permanente metingen worden geïnstalleerd om tijdafhankelijke parameters te registreren. Hierbij worden meestal lucht- en oppervlaktetemperaturen en relatieve luchtvochtigheden bepaald. Deze metingen geven inzicht in het temperatuur- en vochtgedrag van gebouw en installatie.

#### **1.6. Modelvorming**

Om eventuele aanpassingen aan een gebouw of een installatie vooraf te kunnen inschatten, kan een simulatiemodel worden opgesteld. De analyse vormt de basis voor het model, de permanente meting de validatie.

#### **1.7. Verklaren fysische verschijnselen**

Aan de hand van metingen en modelvorming wordt getracht de gesignaleerde problemen te verklaren en er worden mogelijkheden voorgesteld om deze problemen, waar mogelijk, op te lossen of de overlast ervan te verminderen.

### **2. Opzet systeem**

Vooraf het gedeelte 'permanente meting' zorgde tot voor kort voor problemen. Eenvoudig te plaatsen sensoren met een datalogfunctie hadden als probleem, dat ze elke paar weken uitgelezen moesten worden door met een laptop alle sensoren langs te gaan. Grote dataloggers met een capaciteit van 30 kanalen, gecombineerd met een looptijd van een half jaar, hadden als nadeel dat de sensoren fysiek verbonden moesten zijn met de logger. Dit zorgde voor een heleboel kabels door het gebouw. Beide systemen hadden als nadeel dat de meetresultaten pas achteraf beschikbaar waren.

Met behulp van een relatief nieuw type datalogstelsel is een automatisch meetstelsel opgezet. Hierbij worden de draadloos gemeten data op afstand uitgelezen uit de logger, toegevoegd aan de al eerder gemeten data, gecorrigeerd volgens de laatste kalibratie, omgezet tot grafieken en gepubliceerd op internet.

#### **2.1. Hardware**

Het hart van de hardware bestaat uit een centrale unit (ELTEK squirrel 1000 series RX250). Deze unit ontvangt en bewaart alle data die door de sensoren wordt verzonden. Door een GSM-unit aan de centrale unit te bevestigen, wordt het mogelijk om op afstand verbinding met de logger te leggen. Zo kunnen de opgeslagen data worden uitgelezen.



**Fig. 1: Logger**

De sensoren die gebruikt worden (ELTEK genII transmitter GS-11), hebben elk drie opnemers. Deze bestaan uit een luchttemperaturopnemer, een relatieve luchtvochtigheidopnemer en een oppervlaktetemperaturopnemer. Elke 5 minuten worden deze drie opnemers uitgelezen. De drie waarden worden draadloos verzonden naar de logger.

De weergavenauwkeurigheid is 0,1 °C en 0,1 % RV. De meetnauwkeurigheid bedraagt  $\pm 0,4$  °C (tussen + 5 en + 40 °C, daarbuiten  $\pm 1$  °C) en  $\pm 2$  % RV (tussen 10 en 90 % RV, daarbuiten  $\pm 4$  % RV).



**Fig. 2: Sensor**

Voor aanvang van de meting worden de sensoren in een kalibratiekast geplaatst. In deze kalibratiekast worden temperatuur en luchtvochtigheid stapsgewijs gevarieerd. Zeer nauwkeurige, geijkte meetapparatuur registreert de temperatuur en relatieve vochtigheid. De met sensoren gemeten waarden kunnen na de kalibratie worden gecorrigeerd, opdat de afwijking ten opzichte van de geijkte apparatuur minimaal is. Hierdoor is de uiteindelijke nauwkeurigheid beter dan door de fabrikant is opgegeven.



**Fig. 3:** Klimaatkast

## **2.2. Plaatsing van de hardware**

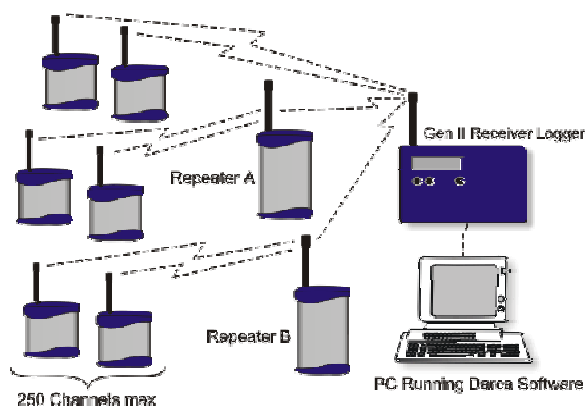
In enkele ruimten (een aantal in de orde grootte van 10) worden luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid gemeten. Hierbij wordt de sensor zo geplaatst, dat de luchtcondities overeenkomen met een gemiddelde luchtconditie voor de hele ruimte. Dit houdt in, dat de sensor zich niet te dicht nabij wanden, hoeken of warmteproducerende apparaten bevindt.

De sensor is uitgerust met een oppervlaktetemperatuuropmeter. Deze is verbonden met de sensor middels een kabel van enkele meters lengte. De opnemer wordt op een positie geplaatst die bouwfysisch gezien interessant is. Dit kan een koude plek op een wand zijn (vooraf bepaald met infraroodthermografie), een plaats waar directe zonnestraling te verwachten is of direct op een object van interesse.

Soms is het nodig om in een ruimte aanvullende parameters mee te nemen in de permanente meting. Een tweede sensor kan bijvoorbeeld in een inblaaskanaal worden geplaatst. Hierdoor worden de temperatuur en de relatieve vochtigheid van de inblaaslucht bepaald. De oppervlaktetemperatuuropmeter wordt dan bijvoorbeeld op een ander interessant oppervlak geplaatst. Een ander type telemetrische opnemer kan ook analoge signalen meten. Deze worden gebruikt in combinatie met andere meetinstrumenten, zoals bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> meters.

Vaak kunnen meerdere sensoren in één ruimte worden gebruikt. Een voorbeeld van toepassing is een sensor, die in de spouw van een constructie wordt geplaatst. Deze spouw

moet dan wel toegankelijk zijn, bijvoorbeeld wanneer een voorzetwand zich voor de monumentale constructie bevindt.



**Fig. 4:** Telemetrisch meetsysteem

De logger wordt op een centrale plaats in het gebouw opgesteld. Bij gebouwen met dikke wanden of veel ijzerhoudende materialen (wapening van beton) is het soms lastig om een plek te kiezen waar alle sensoren ontvangen kunnen worden. Ook is het van belang, dat er op de plaats van de datalogger een netspanning aanwezig is. Lastiger wordt het, wanneer de spanning na sluitingstijd centraal wordt uitgeschakeld. Dan wordt een accu geïnstalleerd, zodat 's avonds de logger vanuit de accu wordt gevoed, terwijl overdag de accu bijlaadt.

### 2.3. Software

Het ELTEK meetsysteem wordt standaard geleverd met software om de data te laden en te bekijken. Deze software heet Darca Plus.

Van deze software wordt alleen het inladen en exporteren (als tabgescheiden tekstbestand) gebruikt. Dit is mogelijk via een DOS-commando.

Met Microsoft Frontpage is een internetsite ontwikkeld (<http://sts.bwk.tue.nl/monumenten>), hier zijn een aantal onderzochte gebouwen op afgebeeld. De meetdata van het voorbeeldhuis is te bekijken; wanneer de data van de andere monumenten wordt bekeken, is een toegangscode vereist.

De dataverwerking wordt met het programma Matlab gedaan. Elke ochtend wordt Matlab automatisch opgestart met behulp van Windows Scheduler. Hierna worden achtereenvolgens de volgende taken uitgevoerd:

- Per GSM wordt verbinding gemaakt met de logger in gebouw 1
- De logger wordt gestopt.
- De data wordt verzonden naar de PC.
- Het geheugen van de logger wordt leeggemaakt.
- De logger wordt opnieuw gestart.
- De data wordt geëxporteerd als tabgescheiden tekstbestand.
- De verbinding wordt afgesloten.
- Het geëxporteerde bestand wordt hernoemd met in de bestandsnaam de start- en stopdatum.
- Alle bestanden worden ingelezen in Matlab en in de juiste volgorde aan elkaar geplakt.
- De meetgegevens worden gecorrigeerd met behulp van de kalibratiegegevens.
- De meetgegevens worden opgeslagen.
- Van de meetgegevens worden grafische weergaven gemaakt, waarbij een viertal perioden te onderscheiden is: jaar, maand, week en dag.

- De gegenereerde grafieken worden omgezet tot jpeg-bestanden, waarbij een watermerk wordt toegevoegd.
- De jpeg-bestanden worden verstuurd naar de server, zodat ze zichtbaar worden via de website (<http://sts.bwk.tue.nl/monumenten>).
- De databestanden, de complete meetgegevens en de grafieken worden allemaal gebackupt.
- De tijdelijke bestanden worden gewist.

Nadat het uitlezen en converteren van de data van het eerste gebouw gereed is, worden ook de data van de andere gebouwen op eenzelfde manier verwerkt.

Matlab is uitstekend geschikt om wiskundige bewerkingen te verrichten. De meetdata kunnen uitgebreid worden bewerkt. De grafische output van Matlab is erg uitgebreid en is volledig controleer- en manipuleerbaar. Hierdoor is Matlab erg geschikt om de meetdata en de daaruit afgeleide andere grootheden uit te rekenen.

Tevens beschikt Matlab over de mogelijkheid om DOS-commando's uit te voeren. Aangezien heel veel programma's door middel van een DOS-code zijn aan te roepen, is Matlab ook geschikt om allerlei andere programma's aan te sturen.

### 3. Weergave van resultaten

In voorgaande paragraaf is al aangegeven, dat allerlei verschillende plots kunnen worden gemaakt. De reden voor het maken van deze plots is het inzichtelijk maken van het binnenklimaat. Het publiek dat via de website de gemeten data bekijkt, is zeer wisselend van achtergrond. De Inspectie Cultuurbezit bekijkt de website om het binnenklimaat te kunnen toetsen aan bepaalde klimaateisen. Een conservator van een museum wil weten aan welk klimaat bepaalde museale objecten worden blootgesteld. Een installatietechnicus wil graag weten of zijn installatie naar behoren functioneert.

Om een zo groot mogelijk inzicht te verschaffen in het binnenklimaat, is een aantal plots ontwikkeld.

#### 3.1. Jaarplots

De jaarplot bestaat uit zes verschillende grafieken. De meetperiode, die wordt weergegeven per plot, is een gedeelte van een jaar of een heel jaar.

##### 3.1.1. Tijdplot

Op de horizontale as wordt de tijd weergegeven, op de verticale as de gemeten grootheid. Bij de eerste grafiek is dit temperatuur (in °C), bij de tweede grafiek is dit Relatieve Vochtigheid (in %RV).

Deze grafieken kunnen gebruikt worden om een beeld te krijgen van het verloop van temperatuur en vochtigheid over een bepaalde periode.

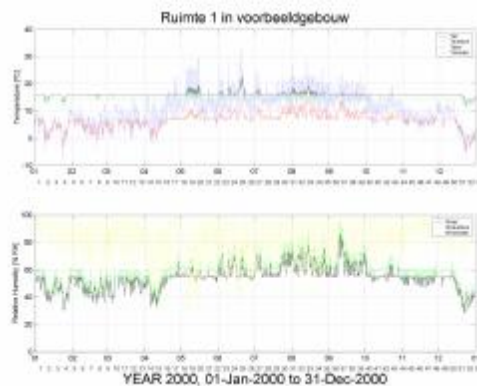


Fig. 5: Voorbeeld van een tijdplot



### 3.1.5. Overschrijdingsplot

De bovenste rij getallen geeft de eisen waaraan het klimaat zou moeten voldoen. De rij getallen daaronder geeft het aantal uren aan, dat niet aan deze eis wordt voldaan. Daaronder staat welk percentage van het totaal dit is.

De kolommen die daaronder volgen, geven weer op welke datum de eis niet wordt gehaald.

Deze figuur kan gebruikt worden om de precieze datum van eventuele afwijkingen te bepalen.

Fig. 9: Voorbeeld van een overschrijdingsplot

### 3.1.6. Klimaat Evaluatie Kaart

Deze Klimaat Evaluatie Kaart (KEK) is een combinatie van een mollierdigram en vier histogrammen.

Een mollierdigram bestaat uit een horizontale as waarop het absolute vochtgehalte is weergegeven. De verticale as geeft de temperatuur weer. Een horizontale lijn heeft op elk punt eenzelfde temperatuur, een verticale lijn eenzelfde vochtgehalte.

Omdat de maximale vochthoeveelheid in lucht afhankelijk is van de temperatuur, zijn er ook gekromde lijnen weergegeven.

Deze lijnen geven de relatieve vochtigheid aan. Het is in deze grafiek eenvoudig te zien dat bij een temperatuurstijging ook een daling van de relatieve vochtigheid plaatsvindt. Bij elke meetwaarde kan het dauwpunt worden afgelezen: door van dit meetpunt recht omlaag te gaan tot het punt waarop de 100 % RV-lijn wordt geraakt; de bijbehorende temperatuur is de dauwpuntstemperatuur.

Alle meetwaarden zijn als vlakken hierin uitgezet. Aan de kleur van een vlak is te zien hoe vaak een gemeten combinatie van temperatuur en relatieve vochtigheid in dit vlak ligt (hoe intenser de kleur betekent hoe vaker).

De blauwe lijnen geven de vantevoren bepaalde klimaateisen aan. Onder in het Mollierdigram is weergegeven wat deze eisen zijn. De klimaateisen verdelen de grafiek in 9 vlakken. Rechts zijn per seizoen deze 9 vlakken gegeven, hierin staat het getal dat aangeeft hoeveel procent van de metingen in het overeenkomende deel van de grafiek liggen.

De histogrammen aan de rechterzijde geven de verdeling van de maximale veranderingen aan. De getallen in de rechter marge geven het overschrijdingspercentage van de klimaateisen weer.

Deze grafiek kan gebruikt worden om het binnenklimaat te relateren aan de gestelde eisen en daarbij (de grootte van) de afwijkingen te constateren.

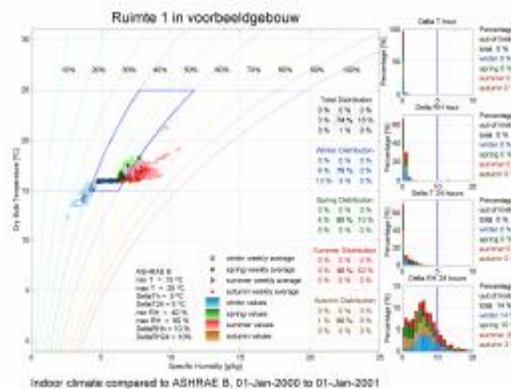


Fig. 10: Voorbeeld van een KEK

### 3.2. Maandplot

Van elke (geheel of gedeeltelijk) gemeten maand wordt één grafiek gemaakt: de maandplot.

Deze grafiek geeft de luchttemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid en de absolute luchtvochtigheid uitgezet tegen de tijd. Het verloop van de gemeten grootheden kan dus worden bekeken.

Op de tijdas is niet alleen de datum weergegeven, maar ook het weeknummer.

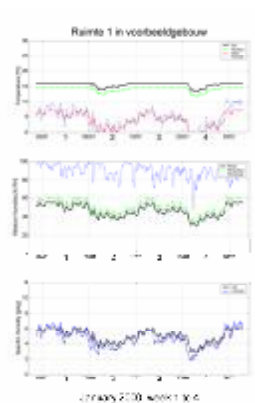


Fig. 11: Voorbeeld van een maandplot

### 3.3. Weekplot

Van elke gemeten week worden twee grafieken gemaakt.

Bij de eerste grafiek zijn de luchttemperatuur, de relatieve en de absolute luchtvochtigheid uitgezet tegen de tijd. Het verloop van deze waarden kan worden bekeken.

De tweede grafiek geeft de afgeleide functie van temperatuur en relatieve vochtigheid weer. Deze afgeleide geeft aan, hoeveel temperatuur en relatieve vochtigheid veranderd zijn in de afgelopen periode. Deze periode is een uur of een dag. Ook is er statistische informatie te vinden (zoals minima, maxima en gemiddelde) van elke dag en de week als geheel.

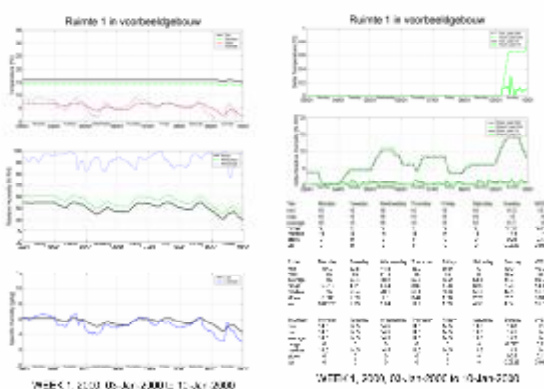


Fig. 12: Voorbeeld van een weekplot

### 3.4. Dagplot

Elke dag wordt een nieuwe dagplot gemaakt. In tegenstelling tot de overige plots, worden nu meerdere sensoren in één plot weergegeven, namelijk alle sensoren van één gebouw.

De klimaateisen worden weergegeven; wanneer de gemeten waarden binnen de eisen blijven, worden ze grijs afgedrukt. Bij over- of overschrijding van de klimaateisen worden de gemeten waarden gekleurd weergegeven en verschijnt de ruimtenaam in de legenda.

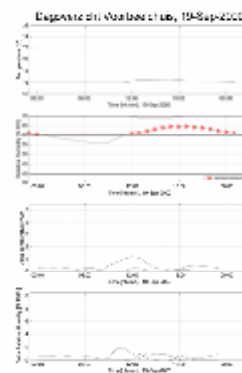


Fig. 13: Voorbeeld van een dagplot

## **4. Toepassingen**

Op dit moment zijn vier verschillende gebouwen uitgerust met een meetinstallatie zoals hierboven is omschreven. Deze vier zullen kort worden toegelicht.

### **4.1. Gevangenpoort**

In museum De Gevangenpoort in Den Haag zijn tien sensoren geïnstalleerd. Negen daarvan bevinden zich in het gebouw, de laatste staat op het binnenplein opgesteld om de buitenklimaatcondities te registreren.

Het systeem werkt naar behoren; door de dikke wanden is het soms moeilijk om signalen te ontvangen. De sensor in de Pijnkelder heeft moeite om bij halflege batterij door de wanden heen te zenden.

### **4.2. Scheepvaartmuseum**

In het depot van het Nationaal Scheepvaartmuseum Amsterdam zijn 14 sensoren aanwezig. Eentje is buiten aangebracht, verder wordt in negen verschillende ruimtes het binnenklimaat bepaald. In vier ruimtes worden ook de inblaascondities geregistreerd.

Door de moeilijke plaatsing van de buitensensor (op het installatiedak) kan regenval soms de sensor rechtstreeks vochtig maken. De gebruikte sensor is minder geschikt hiervoor en roest sneller dan gebruikelijk. Na enige tijd is deze sensor helemaal uitgevallen.

### **4.3. Mauritshuis**

In Het Mauritshuis te Den Haag zijn in zeven ruimtes sensoren geplaatst. In de Vermeerzaal zijn drie sensoren geplaatst: in de spouw achter de voorzetwand, in het inblaaskanaal en in de ruimte. In de Gouden Zaal en atelier 2 worden ook de inblaascondities gemeten. In de overige vier ruimtes worden alleen de luchtcondities gemeten.

In de achtste ruimte, een depotruimte met wanden van gewapend beton, soms twee meter dik, kon niet gemeten worden. In deze ruimte is geen ontvangst.

Op het dak is een speciale buitensensor geplaatst. Deze sensor is bestand tegen regen en wind, maar is in een periode van 8 maanden tweemaal stukgegaan.

### **4.4. Eerste kamer**

In de Eerste Kamer te Den Haag zijn veertien sensoren geplaatst. Alleen in de vergaderzaal worden ook inblaascondities gemeten, verder is dit nergens nodig omdat het gebouw nauwelijks geklimatiseerd wordt.

Ook hier is er een probleem met de buitensensor opgetreden, waardoor deze sensor niet meer kan functioneren.

## **5. Conclusies**

Het draadloze meetsysteem is zeer geschikt om te gebruiken in monumentale gebouwen.

De ontvangst wordt soms belemmerd door massieve of ijzerhoudende wanden.

Het registreren van het buitenklimaat brengt problemen met zich mee, deze problemen worden veroorzaakt door een gebrek aan kwaliteit van het meetsysteem. Deze problemen worden spoedig opgelost.

Het volledig automatiseren bespaart werk en levert op een inzichtelijke manier van dag tot dag informatie. Alle betrokkenen profiteren hiervan.

## **6. Literatuur**

- [1] Jütte, B.A.H.G., 1994, Passieve conservering; klimaat en licht. Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap
- [2] Martens, M.H.J., 2004, Voldoet museum De Gevangenpoort aan de normen voor collectiebehoud? Analyse van het binnenklimaat in een monumentaal gebouw zonder klimaatinstallaties. Technische Universiteit Eindhoven
- [3] Baan, A. en Duijnhoven, T.F.G. van, 2005, Nederlands Cultureel erfgoed; historie met toekomst? Analyse van het binnenklimaat in museum het Mauritshuis te Den Haag en het depot van het Nederlands Scheepvaartmuseum Amsterdam
- [4] [www.eltekdataloggers.co.uk](http://www.eltekdataloggers.co.uk)

# WAT, WAAROM, ZINVOL METEN VAN BOUWFYSISCHE ELEMENTEN

**Kees Snepvangers**  
**Athene Noctua Binnenmilieu Advies / Injection Nederland B.V.**

## **Abstract**

'Meten is weten' wordt wel gezegd. In de praktijk blijkt dat het toch vaak anders ligt. Zonder een goede opzet van een schadeonderzoek is de kans groot dat niet de juiste gegevens worden verzameld voor een juiste diagnose. Het WTA – Merkblatt 4-5-99/D 'Beurteilung von Mauerwerk – Mauerwerksdiagnostik' is een goede tool om te komen tot een verantwoorde onderzoeksopzet.

Voor een goede interpretatie van meetresultaten is het noodzakelijk de eisen en beperkingen te kennen die gelden voor het meten van het vochtgehalte van metselwerk en de bepaling van het zoutgehalte. Ook de invloed van het binnen- en buitenklimaat moet bij het stellen van de diagnose betrokken worden.

Er bestaan in het veld verschillende beoordelingscriteria voor het vochtgehalte in metselwerk. In kritische situaties zou de procedure uit NEN 2778-1991 'Vochtwering in gebouwen – Bepalingsmethoden' gevolgd moeten worden.

Voor de beoordeling van het zoutgehalte in metselwerk zijn verschillende criteria in omloop. De onderlinge verschillen zijn zeer groot. Daar niet duidelijk is hoe de verschillen tot stand gekomen zijn, bestaat in de praktijk de neiging om de strengste te hanteren. In een tijdperk waarin opdrachtgevers weinig risico's durven te nemen, lijkt dat een veilige keuze.

## **1. Inleiding**

Meten is een belangrijk onderdeel van het onderzoek naar de oorzaak van vocht-, zout- en schimmelproblemen. Toch is meten alleen niet voldoende om te komen tot een goede diagnose van de schade. Recent verschijnen meer en meer boeken en richtlijnen met een uitgebreide beschrijving hoe de schade onderzocht zou moeten worden om tot een goede diagnose te komen. Hieruit kan afgeleid worden dat niet elke deskundige even competent en zorgvuldig te werk gaat.

Hoe ernstig de situatie is blijkt uit de publicatie in 2005 van het boek 'Die Sanierung der Sanierung' van de hand van Horst Reul [1]. De titel alleen al geeft duidelijk aan wat de schrik is van veel opdrachtgevers: ondanks de genomen maatregelen zijn de problemen soms groter dan voorheen. De voorbeelden uit het boek laten zien wat er vaak fout gaat in de praktijk:

- Bij de voorbereiding is de oorzaak van de schade onvoldoende onderzocht, veelal doordat er niet gestructureerd gewerkt is;
- Er is niet nagegaan of de voorgeschreven ingrepen voor deze specifieke situatie geschikt zijn.

Punten die eigenlijk voor zichzelf spreken.

Ook in Nederland komt het regelmatig voor dat uit het schadedossier blijkt dat er wel een aantal onderzoeken zijn uitgevoerd maar dat ook de adviezen uit de rapporten niet het gewenste resultaat gebracht hebben. Opvallend is dat vaak niet transparant is hoe de onderzoekers tot hun bevindingen zijn gekomen. Het is ook geen uitzondering dat de conclusies in tegenspraak zijn met de bevindingen in het onderzoek.

## **2. Situatie in Nederland: een schets**

Het herstel van schades aan monumenten en andere gebouwen is meestal duur. Dit alleen al rechtvaardigt een goed onderzoek naar de oorzaak van de schade. Bij grote projecten wordt dit meestal wel gedaan. Bij veel andere projecten ligt het anders.

Hier moet geconstateerd worden dat er een zekere aversie bij opdrachtgevers en architecten bestaat om adviseurs in te schakelen. Als men zelf over de benodigde kennis beschikt, is het inschakelen van een expert natuurlijk overbodig.

In de praktijk speelt er vaak een ander motief: de kosten van de adviseur zijn niet begroot of moeten uit het budget van de architect komen. Om kosten te besparen worden vaak bedrijven uitgenodigd om bij de aanbidding voor werkzaamheden ook het hersteladvies te geven. Deze keuze voor het bedrijf wordt meestal gebaseerd op een aanneme over de vermoedelijke oorzaak. Het risico van deze keuze is dat er maar weinig bedrijven zijn die tegen de architect willen of durven te zeggen dat de schade een andere oorzaak heeft dan de architect (impliciet) heeft aangegeven.

Voor het maken van het hersteladvies en de aanbidding krijgt de vertegenwoordiger van zijn baas een uurtje om de schade ter plaatse op te nemen en de benodigde gegevens voor de aanbidding te verzamelen. Hij moet het vaak stellen zonder dossier met de relevante gegevens. Of deze aanpak voldoende is voor het stellen van de juiste diagnose is weinig waarschijnlijk.

Bij bedrijven bestaat een grote terughoudendheid om het hersteladvies goed gedocumenteerd op papier te zetten. Ze zijn, helaas terecht, bang dat de opdrachtgever met hun advies gaat shoppen. Het gevolg hiervan is dat opdrachtgevers en architecten niet kunnen beoordelen of de voorgestelde oplossing voor het herstel van de schade in deze specifieke situatie geschikt is. Ook kan de opdrachtgever niet beoordelen of de voorgestelde maatregelen wel noodzakelijk zijn.

Op de keper beschouwd is het verbazingwekkend dat het in de praktijk zo vaak goed gaat als het gaat om het herstel van vocht- en zoutschades in gebouwen. Maar als het fout gaat, dan kost het de opdrachtgever veel geld. In sommige gevallen zijn de problemen niet meer met redelijke middelen op te lossen. 'Uithuilen en opnieuw beginnen' is dan het trieste advies.

## **3. WTA Technische Voorlichting 4-5-99/D Beurteilung von Mauerwerk – Mauerwerksdiagnostik [2]**

In de afgelopen jaren besteden auteurs zoals Frank Frossel [3], Claus Arendt & Jörg Seele [4] en Josef Maier [5] ruim aandacht in hun boeken aan werkwijzen om op een gestructureerde wijze tot een diagnose van de schade te komen. Ofschoon er verschillen zijn, komen de hoofdlijnen met elkaar overeen. De basisopzet komt uit het WTA - Merkblatt 4-5-99/D 'Beurteilung von Mauerwerk – Mauerwerksdiagnostik' [2].

Na 6 jaar voorbereiding door het Referat 4 Mauerwerk van de WTA verscheen deze Technische Voorlichting in 1999. Een goed schadeonderzoek bestaat volgens deze richtlijn uit de volgende stappen:

1. Oriëntatie;
2. Opname en beschrijving van de schade;
3. Onderzoeksplanning;
4. Onderzoek ter plaatse en in het laboratorium;
5. Beoordeling onderzoeksresultaten;
6. Restauratieplan.

Impliciet gaat de WTA -Technische Voorlichting (Merkblatt) ervan uit dat het project meerdere malen bezocht wordt. Met name bij kleine projecten is het onderzoeksbudget te gering om dit te doen. Een aantal stappen zullen dan gecombineerd moeten worden.

Een analoog, maar meer gedetailleerd, schema is te vinden in de ÖNORM B-3355-1 [6].

## 4. Onderzoeksplanning

'Wer viel meßt, mißt viel' is een gezegde dat al te vaak opgaat. De classificatie van de schade is een uitstekend hulpmiddel om dit te voorkomen. Het is de eerste stap om te komen tot een eerste aanname over de oorzaak van de schade. De meetstrategie kan hierop gebaseerd worden. Een valkuil bij het classificeren is dat het schadebeeld stereotiep is voor een bepaald schademechanisme, maar dat in een specifiek geval de schade een andere oorzaak kan hebben.

Sinds de verschijning van de 'Damage Atlas – Classification and Analyses of Damage Patterns found in Brick Masonry' [7] is er een goed instrument beschikbaar om het aangetroffen schadebeeld goed te classificeren. Dit jaar verscheen er in het kader van het COMPASS-project [8] ook een atlas voor stucwerk.

Het doel van een onderzoeksplanning is dat er voldoende gegevens beschikbaar komen om uiteindelijk een conclusie over de oorzaken te kunnen trekken. In de bijlagen van het WTA - Merkblatt 4-5-99/D [2] staat een goed overzicht van de beschikbare methoden om het vochtgehalte van metselwerk en de zoutbelasting te bepalen.

Naast het risico van teveel meetgegevens bestaat de kans dat het onderzoek ter plaatse te éénzijdig gericht is op 1 oorzaak. Veel onderzoeksrapporten eindigen met een ultieme verklaring van de schade. Dat meerdere schademechanismen tezamen de oorzaak vormen, wordt dan over het hoofd gezien. Dat dit tot gevolg heeft dat slechts een deel van de problemen opgelost wordt, is dan niet verwonderlijk. In het ergste geval is het probleem zelfs niet kleiner geworden.

Vaak zijn er flankerende maatregelen nodig om te voorkomen dat er opnieuw schade ontstaat. Het onderzoeken van de risicofactoren zoals een ongunstig binnenklimaat maakt daarom deel uit van een goed opgezet onderzoek. Ook de simulatie van het thermisch-hygrisch gedrag van constructies kan waardevolle informatie opleveren voor de te nemen maatregelen.

## 5. Vochtgehalte

Voor de beoordeling van het vochtgehalte van constructies is door het Bouwbesluit 2003 [9] NEN 2778-1991 'Vochtwering in gebouwen – Bepalingsmethoden' [10] aangewezen. In deze norm is vastgelegd dat het vochtgehalte wordt beoordeeld tot een diepte van 10 mm. Dit criterium is op zichzelf niet vreemd. Voor de gebruiker is alleen van belang dat het binnenoppervlak droog is.

In de dagelijkse praktijk wordt het vochtgehalte vaak op een grotere diepte bepaald. Als de muur daar droog is, dan zal het oppervlak dat ook zijn. Het omgekeerde is evenwel niet zondermeer waar.

Bij NEN 2778-1991 [10] is de praktijkrichtlijn NPR 2877-1991, 'Beproevingmethoden voor de waterdichtheid van scheidingsconstructies' [11] opgesteld. Deze bevat een aantal nuttige en belangrijke aanwijzingen voor het bepalen van de waterdichtheid van constructies.

### 5.1. Plaats van de vochtbepaling

Voor de hand liggend is dat het vochtgehalte bepaald wordt op de plaats van de schade. Als een constructie gevoelig is voor vochtproblemen, is het aan te bevelen om ook het vochtgehalte aan de eisen uit het Bouwbesluit 2003 [9] te toetsen bij muren zonder direct visueel zichtbare schade. Dit geldt zeker voor woningen, kantoren en musea. Om dit te bepalen dient het vochtgehalte gecontroleerd te worden ter plaatse van de meest kritische plek. Dit is in de regel direct boven de begane grondvloer.

Bij een houten plint kan de discussie gevoerd worden of het vochtgehalte achter de plint of direct boven de plint bepaald moet worden. In het zogeheten kapstokartikel 3.29 van het Bouwbesluit 2003 [9] staat dat de constructie zodanig moeten zijn dat de groei van

allergenen voldoende wordt beperkt. Op nat metselwerk zal na verloop van tijd de plint door vocht en schimmels aangetast worden. Hierdoor wordt niet meer voldaan aan het uitgangspunt van het Bouwbesluit. Dit vormt voldoende reden om achter de houten plint te meten.



**Afb. 1:** Ten gevolge van vochtbelasting aan de achterzijde aangetaste houten plint

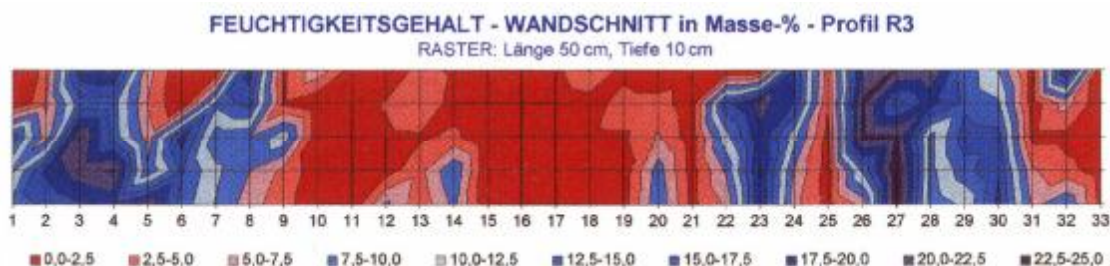
## 5.2. Aantal monsters

Voor de diagnose van de schade kan veelal volstaan worden met het bepalen van het vochtgehalte van een beperkt aantal monsters. Het WTA - Merkblatt 4-5-99/D [2] geeft aan dat op 1 plek ter plaatse van de schade 6 monsters genomen zouden moeten worden op:

- 3 verschillende hoogtes en
- 2 verschillende dieptes.

Bij anderhalf steens of dunner metselwerk zal het laatste vaak moeilijk zijn. Zeker als er een monster genomen moet worden dat 50 à 100 gr weegt zoals de WTA - Technische Voorlichting aanbeveelt.

Bij het aantal van 6 monsters kunnen vraagtekens gezet worden. Impliciet wordt er vanuit gegaan dat er een zeker patroon zal zitten in het verloop van het vochtgehalte. Bij oude muren vertoont de kwaliteit van de gebruikte stenen soms een zeer grote variatie. Dit leidt er toe dat het vochtgehalte ook een grote variatie zal vertonen. Een duidelijk patroon zal zich daarom niet altijd aftekenen.



**Afb. 2:** Verdeling vochtgehalte gemetselde muur op 10 cm diepte, lengte 16 meter [12]

Bij het beoordelen van de effectiviteit van maatregelen moet een andere strategie gevolgd worden. Meestal is het niet mogelijk om een groot aantal monsters te nemen. Er zou

gestreefd moeten worden naar een beperkt aantal monsters dat voldoende representatief is. Dat het zo niet eenvoudig is, blijkt uit het volgende voorbeeld:

*Uit 12 steense bouwmuren worden een aantal jaren na het injecteren steeds op dezelfde plaats 1 monster genomen. Na droging wordt door het injectiebedrijf geconcludeerd dat op twee muren na het metselwerk droog is. Deze conclusie komt niet overeen met het schadebeeld. Op de meeste plaatsen zijn de plinten door houtrot sterk aangetast. Nader onderzoek in opdracht van de eigenaar wijst uit dat het metselwerk op de plaatsen waar de monsters genomen zijn, meestal vernieuwd is. Op de plaatsen met het oude metselwerk was het vochtgehalte onverminderd hoog.*

### 5.3. Monstername

De wijze waarop een monster van het metselwerk genomen wordt heeft invloed op het vochtgehalte. Bij het hakken verandert het vochtgehalte nauwelijks. Bij het nemen van boorkernen is sprake van een grotere beïnvloeding. Als de monsters middels boren verkregen worden, kan het kritisch worden. Dit hangt af van het toerental van de boormachine en de diameter van de boor. Bij een sneldraaiende boormachine met een boor van  $\varnothing$  10 mm zal door de warmteontwikkeling tijdens het boren het vochtgehalte van het boormonster beduidend lager zijn dan het feitelijke vochtgehalte van het metselwerk.

In 'Mauerwerkstroockenlegung' [12] geven Michael Balak en Anton Pech een aantal richtlijnen om te grote fouten bij boormeel te voorkomen:

- Temperatuursverhoging ten gevolge van het boren mag niet meer zijn dan 15 °C. Dit is praktisch te controleren of de boorkop niet warmer wordt dan handwarm (35 – 40 °C);
- Toerental van de slagboormachine lager dan 300 omwentelingen per minuut;
- Boordiameter groter dan 20 mm.

Bij hardere steensoorten is de warmteontwikkeling vaak zodanig dat boormeel vaak niet de goede methode is om het vochtgehalte te bepalen.

Vooraf bij boormeel bestaat de neiging de hoeveelheid materiaal dat gebruikt wordt voor de bepaling van het vochtgehalte beperkt te houden. 10 gr is geen uitzondering. Het WTA - Merkblatt 4-5-99/D 'Beurteilung von Mauerwerk – Mauerwerksdiagnostik' [2] geeft aan dat gewicht van het boormeel 50 – 100 gr zou moeten bedragen.

De hoeveelheid boormeel zou afgestemd moeten worden op het te verwachten vochtgehalte van het metselwerk. Bij een zeer hoog vochtgehalte – > 10 % – is het gewicht van het monster niet meer kritisch. Bij een vochtgehalte van enkele procenten is een grotere nauwkeurigheid nodig. Daarom moet in die gevallen het gewicht van het monster groter zijn.

### 5.4. Verpakken monsters

De Darr-methode – droging in een oven bij 105 °C – vereist dat monsters naar het laboratorium gestuurd worden. Om vochtverlies tijdens het transport te voorkomen, stelt NEN 2778-1991 'Vochtwerking in gebouwen' [10] eisen aan de wijze waarop het monster verpakt worden:

- Binnen 30 s na de monstername moet het monster verpakt worden in een dampremmend materiaal;
- Het verpakkingsmateriaal moet een  $\mu$ d-waarde hebben van groter dan 1 meter;
- Het verpakkingsmateriaal moet het monster volledig omsluiten;

De genomen monsters moeten vervolgens tezamen verpakt worden met een materiaal waarvan  $\mu$ d-waarde groter is dan 60 meter.

Bij boormeel kunnen vragen gesteld worden of de wijze van verpakken adequaat genoeg is om vochtverlies tijdens het transport in de warme kofferbak van een auto voldoende te voorkomen.

Eenvoudiger is om het gewicht van het monster ter plaatse te bepalen. Het vochtverlies tijdens het transport kan dan daarna eenvoudig bepaald worden. De afgelopen jaren zijn er weegschalen op de markt met een nauwkeurigheid van 0,01 gr die "onder de arm" meegenomen kunnen worden naar locatie. Met calibratiegewichten is de werking van deze weegschaal eenvoudig te controleren.

### 5.5. Elektronische vochtmeters

In de afgelopen 10 jaar zijn er steeds meer elektronische vochtmeters op de markt gekomen waarmee het vochtgehalte van metselwerk zonder schade gemeten kan worden. Deze meters zijn relatief goedkoop en daarom aantrekkelijk.

Ook opdrachtgevers zijn hiervan zeer gecharmeerd. Het is niet meer nodig om destructief onderzoek uit te voeren om het vochtgehalte te bepalen. Verder kunnen de opdrachtgevers zelf ter plaatse de meetresultaten zien. Daarnaast kunnen meters niet liegen, menen ze.



**Afb. 3:** Elektronische vochtmeter GANN Sensor B 60

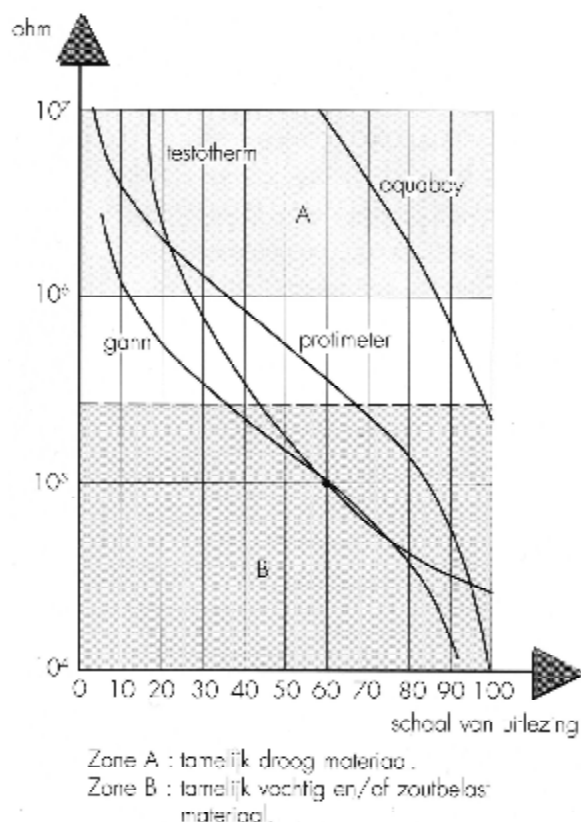
#### ***Bediening***

De elektronische vochtmeters zijn eenvoudig te bedienen. Net als bij de televisie is er geen handleiding nodig om meetresultaten te verkrijgen. Door de eenvoudige bediening wordt de handleiding vaak niet gelezen. Daardoor zijn de beperkingen van deze meters vaak niet bij de onderzoeker bekend. Dit geldt evenzeer voor de factoren die de metingen kunnen verstoren. Vooral zouten en metalen beïnvloeden de meetresultaten van de meeste vochtmeters aanzienlijk en kunnen leiden tot foute conclusies als de verstoringen niet onderkend worden.

#### ***Schaal***

Opvallend veel elektronische vochtmeters hebben een schaal van 0 tot 100. Deze verdeling zet menigeen op het verkeerde been. Het komt helaas regelmatig voor dat in een rapport staat dat een vochtgehalte van 60 % genoemd wordt omdat de vochtmeter de meetuitslag

60 aangaf. Dat dit laatste fysisch niet mogelijk is, weet menig een als er concreet naar gevraagd wordt. Toch is het regelmatig in rapporten te lezen. Een andere factor waarmee meestal geen rekening gehouden wordt, is dat elektronische vochtmeters vaak niet-lineair werken.



**Afb. 4:** Non-lineariteit van elektronische vochtmeters [13]

### **Meetdiepte**

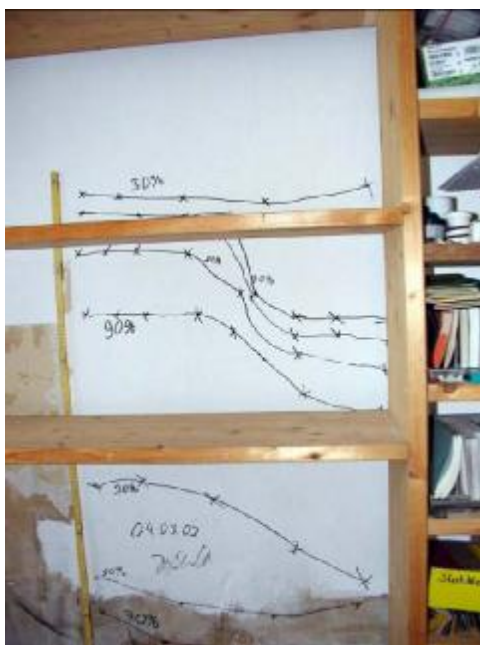
Elektronische vochtmeters meten het vochtgehalte aan de oppervlakte van een constructie, meestal tot een diepte van 1 à 2 cm. Sommige van deze meters hebben een meetbereik tot een diepte van 3 cm. Over de meetdiepte wordt een gemiddelde waarde bepaald. Voor het stellen van de diagnose is de geringe meetdiepte vaak een probleem. Zo kan het vochtgehalte aan het oppervlak sterk beïnvloed zijn door oppervlaktecondensatie.

### **Calibratie**

De meetwaarden van de elektronische vochtmeters geven geen directe informatie over het vochtgehalte van een constructie. Calibratie van de meetgegevens is alleen mogelijk als de metingen gecombineerd worden met bepaling van het vochtgehalte volgens de Darrmethode. In de praktijk gebeurt dit zelden.

### **Inzet**

Ondanks de beperkingen zijn de elektronische vochtmeters zeer nuttige meters. Vooral om het verloop van het vochtgehalte te bepalen. Het vochtfront is met deze meters op een eenvoudige wijze te bepalen.



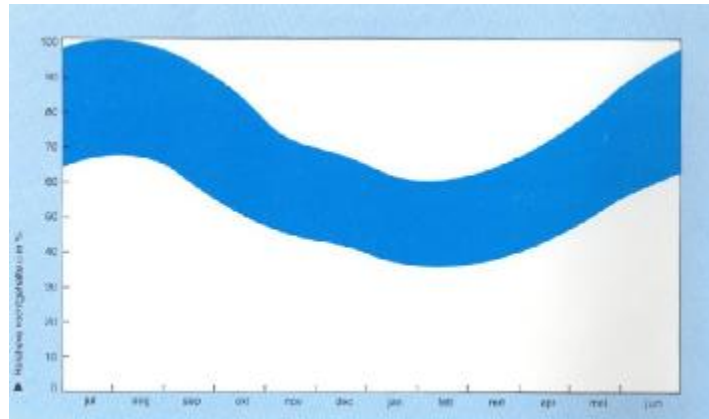
**Afb. 5:** Vochtgehalte in % bepaald met elektronische vochtmeter (Foto beschikbaar gesteld door U. Münzenberg)

## 5.6. Seizoensinvloeden

In verwarmde gebouwen zonder klimaatbehandeling is de relatieve luchtvochtigheid in een ruimte een functie van:

- Het vochtgehalte van de buitenlucht;
- De temperatuur in de ruimte;
- De vochtproductie in de ruimte;
- De ventilatie.

Dit betekent dat de relatieve luchtvochtigheid in gebouwen zonder klimaatbehandeling in de winter vaak beduidend lager is dan in de zomermaanden. Zeker als er sprake is van een geringe vochtproductie in de ruimte. Een lage relatieve luchtvochtigheid leidt ertoe dat de droging van metselwerk in de wintermaanden veel beter is dan in de zomer. Vooral bij anderhalf steens metselwerk en dunnere muren is dit een factor van belang. Het komt voor dat er in de winter geen problemen zijn en dat in de zomer de problemen zichtbaar worden. Bij de beoordeling van het vochtgehalte van metselwerk zou hiermee rekening gehouden moeten worden.



**Afb. 6:** Verloop van de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in woningen incl. spreiding [14]

### 5.7. Beoordeling vochtgehalte

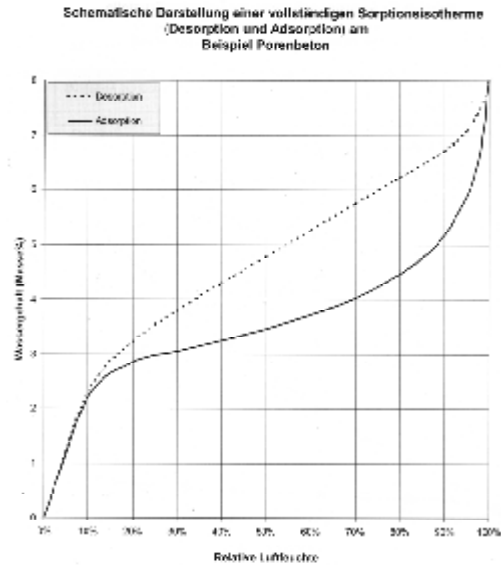
In het veld zijn er verschillende criteria in omloop om het vochtgehalte van metselwerk te beoordelen. Deze zijn meestal gebaseerd op jarenlange ervaring. Opvallend zijn de grote verschillen tussen de verschillende criteria. Soms wordt een vochtgehalte tot maximaal 4 m/m-% nog als droog beoordeeld. Andere gaan uit van maximaal 1 m/m-%. De verschillen worden wel verklaard doordat de ene zou gelden voor zoutbelaste muren en de andere voor muren zonder zout.

De enige juiste methode is de procedure zoals die in de door het Bouwbesluit 2003 aangewezen norm NEN 2778-1991 'Vocht in gebouwen – Bepalingsmethoden' [10] beschreven wordt. De beoordeling moet gebaseerd zijn op de vergelijking van het gemeten vochtgehalte met het hygroscopisch evenwichtsvochtgehalte. Als deze gelijk zijn, dan er is geen sprake van een verhoogd vochtgehalte.

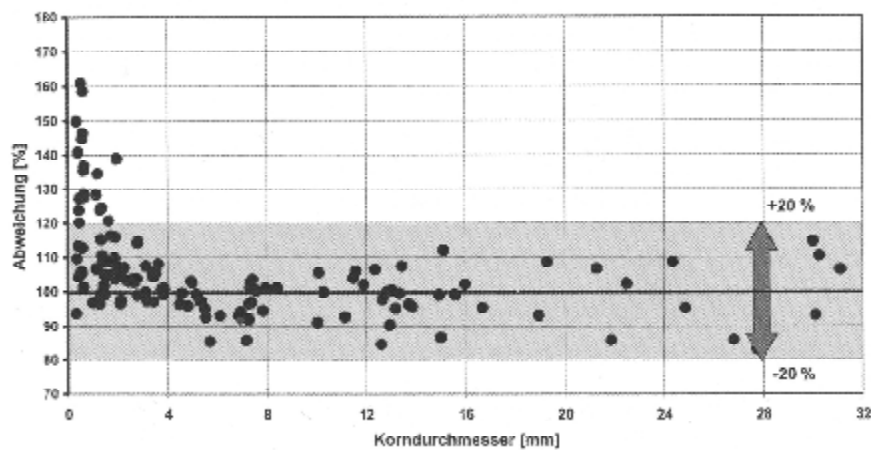
In de praktijk doen zich een aantal problemen voor met deze methode:

- In NEN 2778-1991 is vastgelegd dat het hygroscopisch evenwichtsvochtgehalte bepaald moet worden bij een relatieve luchtvochtigheid van 95 % en een temperatuur van 20 °C. De condities in de praktijk wijken hiervan af. Met name in goed geventileerde en verwarmde ruimten is de relatieve luchtvochtigheid gemiddeld beduidend lager. De verschillen tussen de laboratoriumomstandigheden en de praktijk kunnen ertoe leiden dat ten onrechte een constructie als *droog* wordt beoordeeld;
- De desorptie- en absorptiekromme van poreuze materialen laten verschillen zien. De vraag doet zich voor of een gedroogd monster of een nat monster als uitgangspunt voor de bepaling van het hygroscopisch evenwichtsvochtgehalte genomen moet worden.

Door sommige auteurs wordt wel aangegeven dat het evenwichtsvochtgehalte van boormeel niet representatief is voor het baksteen zelf. Op zichzelf is hiervoor wel iets te zeggen. Mengsels van verschillende zouten in poriën zouden wel eens een ander hygroscopisch gedrag kunnen vertonen dan in boormeel. Of in de dagelijkse praktijk de eventuele verschillen zo groot zijn dat er tot andere conclusies gekomen wordt, is te bezien.



**Afb. 7:** Desorptie- en absorptiekromme van schuimbeton [15]



**Afb. 8:** Variatie hygroscopisch evenwichtvochtgehalte afhankelijk van de korreldiameter [12]

## 6. Beoordelen binnenklimaat

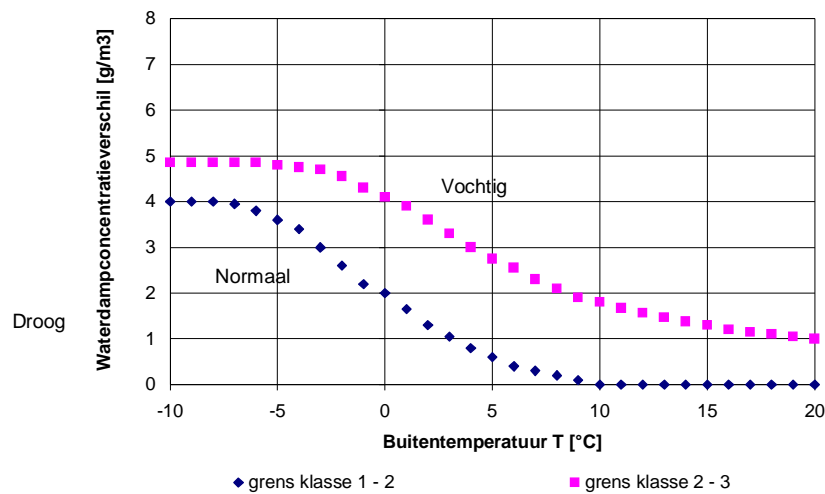
### 6.1. Verblijfsruimten

Veel auteurs geven aan dat het belangrijk is dat het binnenklimaat betrokken wordt bij de beoordeling van schades. Hiervoor geven zij echter geen criteria aan. Dit leidt ertoe dat soms op basis van een momentopname van de relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur een uitspraak gedaan wordt over het binnenklimaat. Voor een niet-geventileerde kelder met een constant klimaat is dit misschien geen probleem. Voor andere vertrekken waarin het binnenklimaat door zowel de buitencondities, de vochtproductie in de ruimte en de ventilatie bepaald wordt, kan een momentopname leiden tot verkeerde conclusies.

Ventilatievoorzieningen dienen in Nederland te voldoen aan het Bouwbesluit 2003. Voor de beoordeling van de voorzieningen in monumenten wordt verwezen naar de norm NEN 8087-1991 'Ventilatie van gebouwen – Bepalingsmethoden voor bestaande gebouwen' [16]. De norm is uitsluitend geschikt om de capaciteit van de voorzieningen te beoordelen. Hoewel de beoordeling van de ventilatiecapaciteit indirect wel een aanwijzing is voor het binnenklimaat

dat verwacht mag worden, is het niet geschikt voor de beoordeling van het binnenklimaat daar het gebruik van de ventilatievoorzieningen daarbij niet betrokken wordt.

Voor het beoordelen van het binnenklimaat zijn maar weinig instrumenten beschikbaar. Het Van-de-Kooi-diagram [17, 18,19] is een weliswaar wat ouder instrument maar het heeft zich in de loop van de jaren bewezen voor woningen die ouder zijn dan 1990. Het diagram is gebaseerd op onderzoek dat omstreeks 1970 door Dr.Ir. Van de Kooi e.a. [19] is uitgevoerd. Uitgangspunt voor het diagram is dat naar mate de temperatuur buiten kouder is, de toename van het absolute vochtgehalte hoger mag zijn zonder dat dit leidt tot vocht- en schimmelklachten. Om het Van-de-Kooi diagram te kunnen toepassen is het noodzakelijk dat het binnenklimaat – temperatuur en relatieve luchtvochtigheid – gedurende ten minste 14 dagen gemeten wordt. De voorkeur gaat uit naar een periode van 4 weken in de periode tussen half oktober en begin maart als de verschillen tussen de gemiddelde binnen- en buitentemperatuur ten minste 8 à 10 °C. De registratie van de meetgegevens zou iedere 5 à 10 minuten moeten plaats vinden.



**Afb. 9:** Van-de-Kooi diagram [18]

In 1997 heeft het Fraunhofer Institut für Bauphysik als beoordelingscriterium de Feuchtelastfaktor [20] gepubliceerd. Het verschil met het Van-de-Kooi diagram is niet groot, zij het dat bij de berekeningen alles gerelateerd wordt aan een binnentemperatuur van 20 °C. Er is nog onvoldoende ervaring om te kunnen beoordelen of dit criterium bruikbaar is voor de Nederlandse situatie.

$$c_i = c_a + f_L (20 \text{ °C} - \vartheta_a)$$

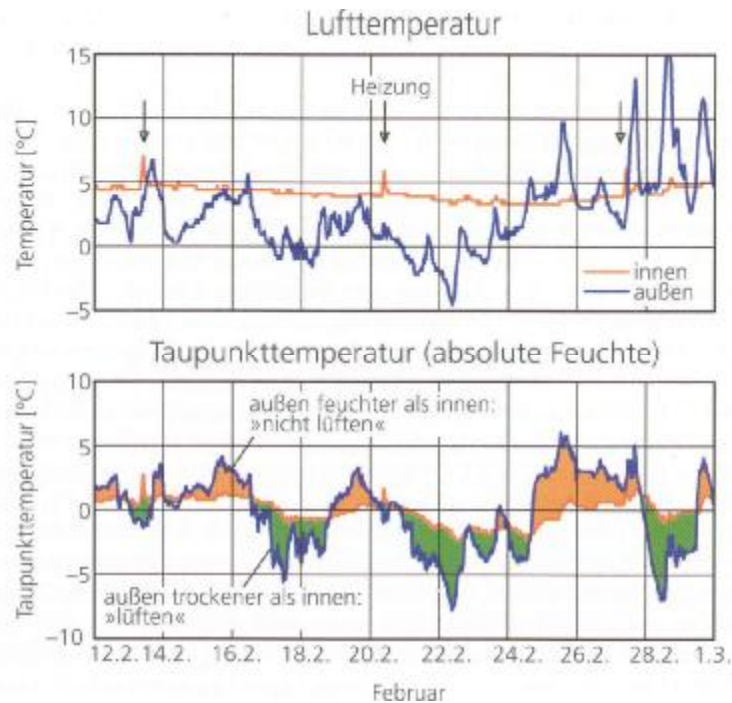
$\vartheta_a$  [°C]      Außenlufttemperatur

$f_L$  [g/m³°C]      Feuchtelastfaktor

**Afb. 10:** Berekening Feuchtelastfaktor [20]

## 6.2. Kelders en souterrains

Het klimaat in kelders en andere niet-verwarmde ruimten ijlt na bij de buitencondities. Velen denken dat het goed is om in het voorjaar en de zomer deze vochtige ruimten goed te ventileren. Dat dit de oorzaak van een vochtschade kan zijn, realiseren zich maar weinigen. De bekende Duitse bouwfysicus Helmut Künzel heeft in een aantal artikelen gewezen op de risico's van oppervlaktecondensatie in het voorjaar en de zomer als het absolute vochtgehalte van de buitenlucht hoger is dan van de binnenlucht.



**Afb. 11:** Verloop luchttemperatuur en dauwpuntstemperatuur in een kleine kerk [21]

Souterrains worden meer en meer gebruikt voor het inrichten van slaapkamers. Vaak wordt er niet bij stilgestaan wat de consequenties op het binnenklimaat zijn van niet-geïsoleerde grondkerende muren. Deze zullen nimmer de temperatuur van de ruimte aannemen. Met name in de zomer ontstaan er vocht- en schimmelproblemen. Zeker als er goed geventileerd wordt. Als de warme zwoele buitenlucht tijdens een hittegolf in het souterrain afkoelt, dan kan zelfs het beddengoed klam worden.



**Afb. 12:** Slapen in een klamme kelder met vochtproblemen

## 7. Zoutgehalte

Zouten in metselwerk vormen een problematiek op zichzelf. Regelmatig komt het nog voor dat na het injecteren van muren tegen optrekkend vocht er opnieuw schade aan de muur en het stucwerk ontstaat. Deze keer door hygroscopische vochtopname. Bij de keuze van maatregelen voor het herstel van de schade zal met de aanwezigheid van de zouten rekening gehouden moeten worden.

Naast de concentratie wordt de schadelijkheid van de zouten bepaald door:

- Het hygroscopisch gedrag;
- De volumevergroting bij kristallisatie;
- De oplosbaarheid.

Van zuivere zouten zoals natriumchloride, calciumnitraat en natriumsulfaat zijn deze eigenschappen goed bekend. Opgemerkt wordt dat de eigenschappen van de afzonderlijke zouten niet zonder meer te vertalen zijn naar de zoutverbindingen zoals die in de praktijk voorkomen. Veel zoutanalyses beperken zich tot de bepaling van het gehalte aan chloriden, nitraten en sulfaten. In veel gevallen als de belasting hoog is en er een zekere vrijheid bestaat ten aanzien van de te nemen maatregelen is dit meestal voldoende.

De afgelopen jaren zijn er een aantal wetenschappelijk projecten zoals COMPASS afgesloten die meer inzicht geven in het gedrag van zouten in metselwerk. Het probleem zal zijn om deze kennis in het veld te verspreiden.

### 7.1. Plaats monstername

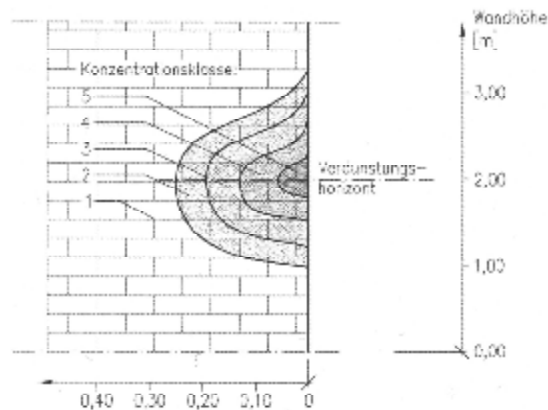
Het komt voor dat de zoutbelasting van een muur beoordeeld wordt aan de hand van monsters van het stucwerk. Dit kan tot vreemde conclusie leiden zoals blijkt uit het onderstaande voorbeeld:

*In opdracht van een aannemer wordt door een leverancier ten behoeve een stucwerkadvies van 3 monsters een zoutanalyse gemaakt. Op basis van de hoge concentratie sulfaten in 2 van de 3 monsters wordt door de leverancier geadviseerd een saneerpleister toe te passen. Tevens moet een sulfaatremmende laag aangebracht worden. Dit alles om de fluorescentie van glauberzout ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) tegen te gaan.*

*Bij inspectie van de kelder blijkt dat voor het oude stucwerk gips gebruikt is. Na opvraag van de zoutanalyses blijkt dat 2 monsters met de hoge sulfaatconcentratie genomen zijn van de gipspleister (calciumsulfaat). Aanvullende onderzoeken van het zoutgehalte van het metselwerk geven uiteindelijk aan dat het zoutgehalte zeer laag is.*

De zoutconcentratie in metselwerk vertoont een grote spreiding. Ook op plaatsen zonder direct visueel zichtbare schade kan een hoge zoutconcentratie voorkomen. Op ontzouten na, hebben maatregelen in veel gevallen tot gevolg dat het hygrisch gedrag van een constructie verandert. Schade door zouten kan dan ontstaan op plaatsen waar voorheen geen schade bestond.

Bij het bepalen van de plaatsen waar monsters genomen worden, moet er rekening mee gehouden worden dat zouten zich niet gelijkmatig verspreiden door het metselwerk zoals blijkt uit onderstaande tekening.



Afb. 13: Verdeling zoutconcentratie bij het verdampingsfront [12]

## 7.2. Beoordeling zoutbelasting

Voor het beoordelen van de zoutbelasting zijn er diverse beoordelingscriteria beschikbaar. In de ÖNORM B 3355-1 'Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk – Bauwerksdiagnostik und Planungsgrundlagen' [6] is de onderstaande tabel opgenomen. In de literatuur wordt wel aangegeven dat deze opgesteld zou zijn door de WTA. Evenwel wordt de document waarin dat staat nooit aangegeven. De tabel lijkt in de praktijk een groot draagvlak te hebben. Waarschijnlijk komt dit doordat het beoordelingscriterium zeer streng is.

Zoutbelasting in M.-%			
Anionen	Noodzaak maatregelen		
	Geen	Situatie afhankelijk	Dringend
Chloriden	< 0,03	0,03 – 0,10	> 0,10
Nitraten	< 0,05	0,05 – 0,15	> 0,15
Sulfaten	< 0,10	0,10 – 0,25	> 0,25

Tabel 1 [6]

In de bijlage 8 van het Merkblatt 4-5-99/D [2] dat in 1999 verscheen, worden percentages genoemd die hiervan sterk afwijken. In de literatuur zijn er slechts weinig verwijzingen naar deze tabel te vinden.

Zoutbelasting in M.-%			
Anionen	Noodzaak maatregelen		
	In uitzonderingsgevallen	Situatie afhankelijk Nader onderzoek noodzakelijk naar zoutverbindingen en kationen	Noodzakelijk Nader onderzoek noodzakelijk naar zoutverbindingen en kationen
Chloriden	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,10
Nitraten	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,15
Sulfaten	< 0,5	0,5 – 1,5	> 0,25

Tabel 2 [2]

### **Omstandigheden**

Opvallend is dat bij geen van de beoordelingscriteria wordt aangegeven onder welke condities deze van toepassing zijn. Zo zal calciumnitraat (salpeter) bij een buitenmuur in de zon veel eerder tot schade leiden dan dezelfde hoeveelheid nitraat in een muur van een

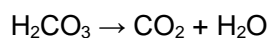
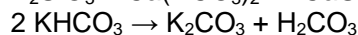
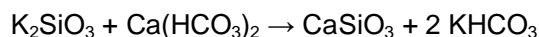
kelder waar een constante temperatuur en eveneens constante zeer hoge relatieve luchtvochtigheid heerst.

Deze onduidelijkheid in toepasbaarheid van de beoordelingscriteria leidt ertoe dat bij de keuze van de maatregelen een afweging gemaakt moet worden welk risico acceptabel is. Daar opdrachtgevers tegenwoordig weinig risico wensen te lopen, leidt dit ertoe dat op zeker gespeeld wordt. Opdrachtgevers lijken de kostenverhoging die dit tot gevolg heeft voor lief te nemen.

### 7.3. Kalium

Over het algemeen wordt afgezien van het bepalen van de samenstelling van de kationen. Helemaal terecht is dit niet. De uitzondering heeft met name betrekking op kalium. Kalium is altijd in lage percentages in metselwerk aanwezig. In waterglas, een injectiemiddel tegen optrekkend vocht, kwam tot enkele jaren geleden een hoog percentage kalium voor.

Een hoog gehalte aan kalium kan bij kalkhoudend metselwerk leiden tot de vorming van het hygroscopisch en goed oplosbare kaliumcarbonaat. Prof. Rudolf Karsten heeft dit schadegeval beschreven in zijn boek 'Bauchemie' [22]:



Kaliumcarbonaat is in tegenstelling tot kalk zeer hygroscopisch en bovenal zeer goed oplosbaar in water. Het kan ertoe leiden dat een kelder die oorspronkelijk niet lekte binnen enkele jaren na het injecteren ernstige lekkages vertoont.



**Afb. 14:** Lekkende gemetselde kelder na injectie met kaliwaterglas

### 8. Conclusie

In de afgelopen jaren zijn er een aantal procedures beschikbaar gekomen om het onderzoek naar vocht- en zoutchades goed te structureren en uit te voeren. Deze procedures zijn helaas vrij onbekend in Nederland. Hierdoor komt het in de praktijk helaas voor dat verkeerde conclusies getrokken worden doordat het onderzoek niet goed opgezet is. Opdrachtgevers maken zich dan ook terecht zorgen over de kwaliteit van onderzoek. Aan de andere kant is menig opdrachtgever niet bereid om voor een goed onderzoek (extra) te betalen.

## 9. Literatuur

- [1] Horst Reul, *Die Sanierung der Sanierung – Grundlagen und Fallbeispiele*, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 2005
- [2] WTA Merkblatt 4-5-99/D, *Beurteilung von Mauerwerk – Mauerwerksdiagnostik*, WTA Publications Freiburg, 1999
- [3] Frank Frossel, *Mauerwerkstrockenlegung und Kellersanierung – Wenn das Haus nasse Füße hat*, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 2001
- [4] Claus Arendt en Jörg Seele, *Feuchte und Salze in Gebäuden – Ursachen, Sanierung, Vorbeugung*, Verlagsanstalt Alexander Koch Leinfelden-Echterdingen, 2001
- [5] Josef Maier, *Handbuch Historisches Mauerwerk – Untersuchungsmethoden und Instandsetzungsverfahren*, Birkhäuser Verlag Basel, 2002
- [6] ÖNORM B 3355-1, *Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk – Bauwerksdiagnostik und Planungsgrundlagen*, Österreichisches Normungsinstitut Wien, 1999
- [7] L. Franke en I. Schumann, *Damage Atlas – Classification and Analyses of Damage Patterns found in Brick Masonry*, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 1998
- [8] COMPASS, *Newsletter nr. 4, june 2005*  
<http://www.compass-salt.org/newsletters/newsletter4.htm>  
geraadpleegd op 5 november 2005
- [9] Staatsblad 2001, 410, *Bouwbesluit 2003*, zoals deze luidt na de wijzigingen, gepubliceerd in Staatsblad 2002, 203; Staatsblad 2002, 516, Staatsblad 2002, 518 en Staatsblad 2005, 1.
- [10] NEN 2778-1991, *Vochtwering in gebouwen – Bepalingsmethoden*, Nederlands Normalisatie Instituut Delft, 1991
- [11] NPR 2877-1991, *Beproevingmethoden voor de waterdichtheid van scheidingsconstructies*, Nederlands Normalisatie Instituut Delft, 1991
- [12] Michael Balak, Anton Pech, *Mauerwerkstrockenlegung – Von den Grundlagen zur praktischen Anwendung*, Springer Verlag Wien, 2003
- [13] Pien, De Bruyn, *Vocht in Gebouwen – Bijzonderheden van opstijgend vocht*, Technische Voorlichting 210, WTCB Brussel, 1998
- [14] J.F.K.Z. Visser (red.), *Condensatie*, Blauwdruk nr 8, januari 1985, Nederlandse Gasunie Groningen, 1985
- [15] WTA Merkblatt 4-11-02/D, *Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen*, WTA Publications München, 2002
- [16] NEN 8087, *Ventilatie van gebouwen – Bepalingsmethoden voor bestaande gebouwen*, Nederlands Normalisatie Instituut Delft
- [17] E. Tammes, B.H. Vos, *Warmte- en vochttransport in bouwconstructies*, Kluwer Technische Boeken B.V. Deventer, 1984
- [18] E. Tammes, Heroriëntatie luchtvochtigheid in woningen, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordeningen Milieubeheer Directoraat-Generaal van de Volkshuisvesting Directie Onderzoek en Kwaliteitszorg Den Haag, 1987
- [19] Dr. Ir. Van de Kooi, K. Th. Knorr, *De temperatuur en vochtigheid in woningen*, Klimaatbeheersing 2 (1973) nr. 10 (oktober)
- [20] H.M. Kunzel, *Raumluftfeuchteverhältnisse in Wohnräumen*, IBP-Mitteilung 314, 1997
- [21] Helmut Kunzel, *Bauphysik – Geschichte und Geschichten*, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 2002
- [22] Rudolf Karsten, *Bauchemie*, C.F. Müller Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg, 2003

# **DIAGNOSE EN MONITORING MET BEHULP VAN EEN EXPERT SYSTEEM: MDDS COMPASS**

**Silvia Naldini**

**Silvia Naldini Advice / Delft University of Technology**

**Rob van Hees**

**Delft University of Technology / TNO Built Environment and Geosciences**

## **Samenvatting**

Het gebruik van expertsystemen in de conservering van historische gebouwen is een recente en resultaat opleverende ontwikkeling. MDDS, het 'Masonry Damage Diagnostic System', is een expert systeem ontworpen voor de diagnose van schade aan historisch metselwerk. Dit systeem, daterend uit 1995, werd als basis gebruikt voor het ontwikkelen van een nieuw systeem, het 'Monument Damage Diagnostic System'. Ontstaan binnen het EU project COMPASS, is het nieuwe systeem aanzienlijk breder dan het oorspronkelijke en bevat meer kennis over verschillende bouwmaterialen en schademechanismen. Met name informatie over pleister en zoutschade komen aan bod: het systeem dient namelijk als instrument voor een doelgerichte overdracht van de kennis uit het genoemde EU project. Eindgebruikers vinden richtlijnen om hun keuzes te ondersteunen en een diagnose van de schade en de oorzaak ervan te maken. Verder worden ze ondersteund in het plannen van restauraties.

## **1. Inleiding**

MDDS, het 'Masonry Damage Diagnostic System', was een Expert Systeem voor de diagnose van schade aan historische baksteen constructies. Een demo versie van het Systeem werd binnen een internationaal Project, in het kader van het EU Environment Programma [1] ontwikkeld. Dit Systeem werd verder uitgebreid aan de hand van de resultaten van erop volgende EU Projecten, als b.v. het Pointing Project [2]. Het werk uitgevoerd binnen het EU COMPASS project [3] heeft in een nieuw (prototype) systeem geresulteerd [4], [5], [6] (Het daarbij gebruikte programma is IO (Intelligent Objects), ontwikkeld door Thinkworks). Binnen het kader van dit laatste project is nieuwe kennis ontwikkeld over het zoutschade mechanisme en de basisprincipes van restauratie pleisters. Het nieuwe Systeem is op het oorspronkelijke MDDS gebaseerd, maar is flexibeler, meer praktijkgericht en heeft een vriendelijker user-interface. Verder zijn meer materialen geïntroduceerd, zoals pleisters en natuursteen, wat tot de beslissing leidde, om het systeem 'Monument Damage Diagnostic System' te noemen.

Dankzij de geavanceerde technologie die werd geïmplementeerd, kan het systeem dat tijdens het COMPASS project ontwikkeld werd, MDDS-Compass, verschillende schade verschijnselen tegelijk behandelen, op één locatie of op verschillende locaties gesitueerd, en een diagnose bereiken, waarin alle verschillende schades, hun locaties en oorsprong in aanmerking worden genomen. Een systematisch gebruik van MDDS door de Instanties verantwoordelijk voor het onderhoud van monumenten zou garanderen dat het nodige vooronderzoek is uitgevoerd, en daarmee de basis voor goedonderbouwde ingrepen (zo die nodig blijken te zijn) wordt gelegd. Een Schade Atlas (Damage Atlas), die de schadeanalyse ondersteunt, op het niveau van de materialen en van de constructie, is beschikbaar om de gebruiker met het goed omschrijven van de geobserveerde schade te helpen. Er is verder een overzicht van nuttige tests, met daarbij aanwijzingen om de

resultaten te interpreteren, bedoeld om de gebruiker door het proces van de identificatie van de schadelijke mechanismen te leiden.

### 1.1. Hoofdonderwerp van het COMPASS Systeem: pleisters en zoutschade

De voornaamste invalshoek van het diagnostische deel van MDDS-Compass heeft betrekking op schade door zoutkristallisatie processen, met speciale nadruk op pleisters en het gebruik daarvan op zout belaste ondergronden.

Andere processen, die kunnen leiden tot vergelijkbare schadetypen, worden ook in aanmerking genomen.

Zoutkristallisatie processen kunnen leiden tot verschillende vormen van schade aan een pleister. Ze kunnen zich ook ontwikkelen samen met andere processen (fig. 1).



**Fig. 1:** Schade aan pleister en baksteen in een buitenmuur van een windmolen. Het schadetype kan worden omschreven als 'exfoliation' (afbladderen), en is ontstaan door de combinatie van zout- en vorstschademechanismen.

Het Systeem leidt de gebruiker naar de correcte verklaring van het ontstaan van elk schadetype, door middel van deductieve en inductieve procedures, op basis van de door de gebruiker gegeven informatie, en rekening houdend met de context. Het Systeem biedt veel wetenschappelijk-technische informatie ('background information'), op basis waarvan de gebruiker zelf tot een diagnose kan komen ('diagnosis inspector'). Samenvattend, relateert het Systeem de gevonden schade aan een schademechanisme (of meerdere mechanismen), en bepaalt vooral of de noodzakelijke condities aanwezig zijn voor het ontstaan van elk verondersteld schadeproces, onder de gegeven omstandigheden; toch kan een onderzoeker, die meer relevante informatie over de lokale omstandigheden kent, altijd met zijn eigen analyse en diagnose komen, waarbij het Systeem ondersteuning biedt d.m.v. de 'background information' sectie. Hulp is te krijgen o.a. voor het maken van hypothesen, de interpretatie van vocht- en zoutverdelingsprofielen, en de keuze van de meest geschikte pleister voor een specifieke ondergrond, rekening houdend met de heersende omgevingsfactoren (b.v. optrekkend vocht).

## 2. Consultatie van MDDS-Compass

MDDS-Compass is bedoeld om de gebruiker te helpen de oorzaak van schade met name aan pleisters te onderzoeken, de ernst daarvan te bepalen, en een advies uit te brengen over de te nemen maatregelen, inclusief de meest geschikte (restauratie)pleister. Een diagnose kan ondersteund worden door tests en metingen, maar kan ook alleen gebaseerd worden op de resultaten van een visuele inspectie en de gegevens over de geschiedenis van het gebouw en de ontwikkeling van de schade.

Een consultatie van het Systeem gericht op pleisterschade zal eindigen met 1. diagnose van de schade, waarbij de bronnen van vocht en zout worden aangegeven en 2. meest geschikte pleister onder de specifieke omstandigheden. De keuze dient te worden gedaan op basis van criteria gerelateerd aan:

- type ondergrond en type bestaande pleister
- geschiedenis van de schade
- type, locatie, bereik en ernst van de schade
- oorsprong van zout en vocht
- zout- en vochtbelasting (damage potential).

### 2.1. Visuele inspectie van het gebouw

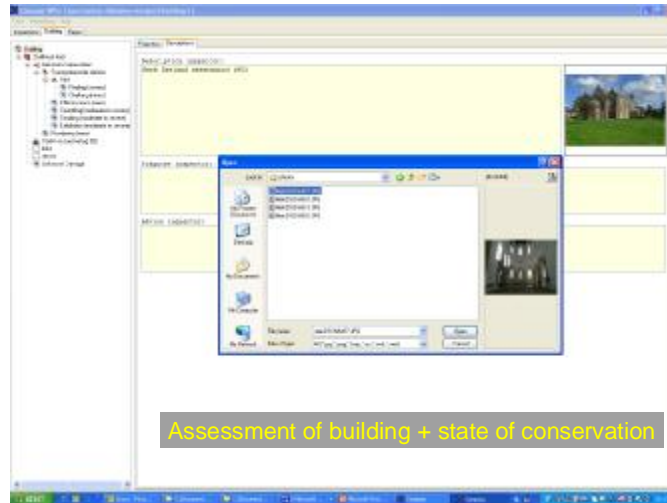
Een onderzoek aan de hand van MDDS-Compass zal, zoals ieder schade- onderzoek, beginnen met een visuele inspectie van het gebouw. Het doel van de eerste fase van het werk is om het mogelijk te maken dat de onderzoeker meer inzicht in de schadetoestand van het gebouw krijgt en dat zijn waarnemingen met behulp van het Systeem een structuur krijgen ('Description – inspector'). Het Systeem helpt elke afzonderlijke situatie te behandelen als onderdeel van een geheel, in een zekere context. De manier van redeneren van MDDS is gebaseerd op die van een expert. Alle informatie die relevant is voor de gebruiker kan in het Systeem een plaats vinden. De gebruiker kan namelijk aantekeningen maken, die niet direct relevant zijn voor de diagnose van de schade, maar een ander doel dienen (b.v. statistiek). Ook foto's en tekeningen kunnen in de consultatie-file worden opgenomen: deze file zal het dossier van het gebouw worden (fig. 2).

Het is nuttig om bij een inspectie een aantal instrumenten bij de hand te hebben:

camera, verrekijker  
fles water, pipet, Karsten buis  
priem  
voeghardheidsmeter  
scheurwijdtemeter  
kleine hoeveelheid HCl (zoutzuur)

en voor het nemen van monsters:

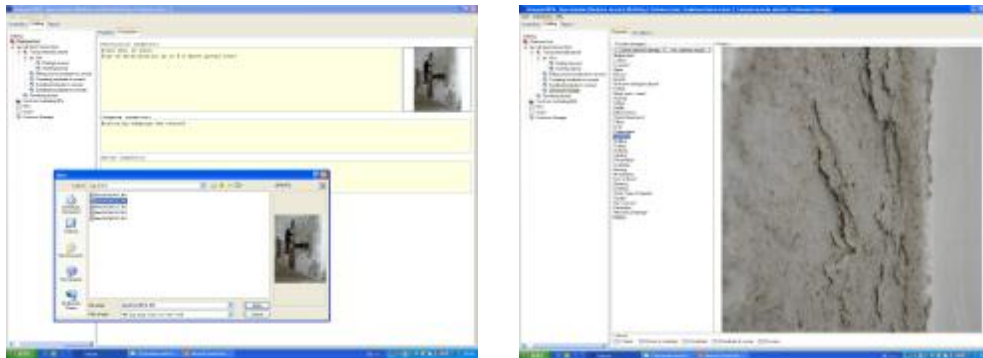
hamer en beitel  
hamer-boormachine  
boormachine voor nat boren van kernen  
goed afsluitbare flesjes of plastic zakjes



**Fig. 2:** Een beschrijving van het gebouw kan worden gegeven en geïllustreerd met foto's en tekeningen

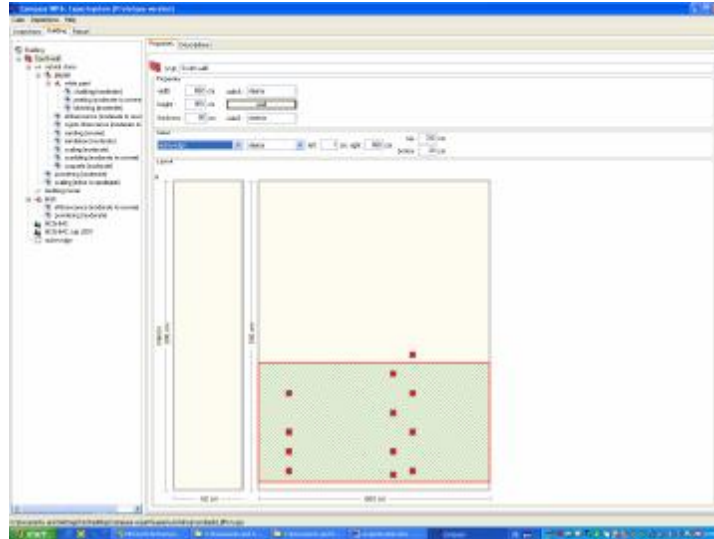
Het feit dat de gebruiker veel informatie in het Systeem kwijt kan, betekent niet dat een diagnose op willekeurige data gebaseerd kan worden. De essentiële informatie, die het Systeem nodig heeft voor een diagnose, wordt expliciet gevraagd. De gebruiker dient bepaalde data in te voeren, volgens een bepaalde methodologie. Deze procedure garandeert dat alle door het Systeem gemaakte rapportages op een coherente manier zijn samengesteld en dat geen fundamentele aspecten van het onderzoek wordt verwaarloosd. De rapportage omvat alle passages die tot een doordachte diagnose leiden.

Tijdens een onderzoek kan de gebruiker geconfronteerd worden met verschillende situaties met betrekking tot schadetype, ernst en omvang. Bijvoorbeeld kan de schade niet alleen in de pleister geconcentreerd zijn, maar ook in de ondergrond; schade kan lokaal zijn of verspreid, in een beginfase, of zich juist tot ernstige vormen hebben ontwikkeld. Het Systeem maakt het mogelijk voor de gebruiker, om zo diep in detail te gaan als nodig (fig. 3).



**Fig. 3:** Schade kan beschreven worden op verschillende niveaus met behulp van een Schade Atlas: van schade aan een muur in zijn geheel, tot het niveau van de verschillende materialen afzonderlijk.

Elk muur of bouwelement kan afzonderlijk worden beschreven en hetzelfde geldt voor de materialen die de muur vormen. Verder kan men de muur in zones (locaties) verdelen in relatie tot b.v. vochtbronnen en schadetypen. De schade in de afzonderlijke locatie aanwezig (fig.4), kan in termen van ernst verder worden gekarakteriseerd.



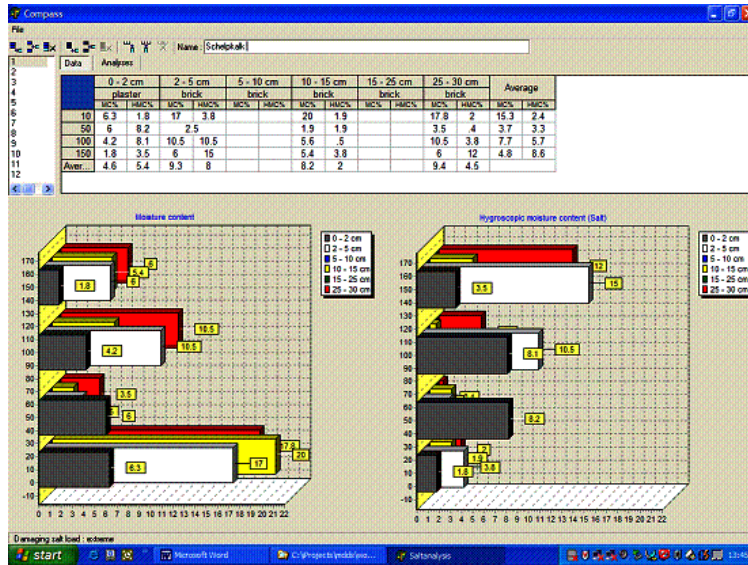
**Fig. 4:** De locatie van de schades en de monsters in een onderzocht muurvlak is aangegeven

## 2.2. Het zout kristallisatieproces

Het oplossen en kristalliseren van zout kan schade veroorzaken. Dit proces kan niet alleen in de aanwezigheid van vloeibaar vocht plaatsvinden: ook veranderingen in relatieve vochtigheid kunnen tot schade (b.v. zoutuitbloei en verborgen uitbloei of cryptoflorescentie) leiden [7]. De meest voorkomende schadelijke zouten die in muren worden aangetroffen gaan boven een zekere RV in oplossing. Een meting van het hygroscopisch gedrag van monsters kan aantonen of er zich oplosbare zouten in de muur bevinden [8].

## 2.3. Zout- en vochtmetingen

De metingen van zout en vocht spelen een belangrijke rol in een onderzoek. Het Systeem ondersteunt het opsporen van de mogelijke bron(nen) van vocht in een muur. De aanwezigheid en verdeling van vocht en zouten, gebaseerd op het aanwezig vochtgehalte (moisture content, MC) en het hygroscopisch vochtgehalte (hygroscopisch vochtgehalte, HMC) over de muurhoogte en in de muur, op verschillende dieptes (fig. 5), worden voor de analyse gebruikt. De hoogte van het hygroscopisch vochtgehalte vormt een indicatie voor de aanwezige hoeveelheid zout.



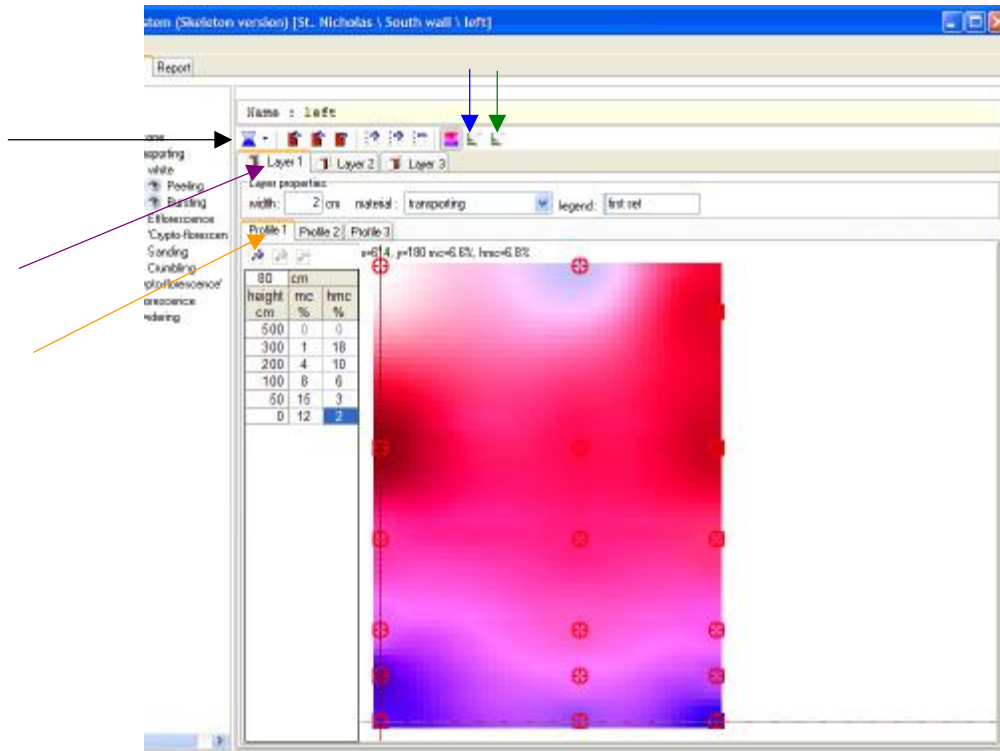
**Fig. 5:** Vocht- en zoutverdeling en hoeveelheid dienen ook als indicatie voor het herkennen van vochtbronnen.

## 2.4. Essentiële informatie

Om een correcte interpretatie van de resultaten van de metingen te maken dient de gebruiker bepaalde informatie te hebben verzameld: het type muur (b.v. vrijstaand, grondkerend), de kwaliteit en samenstelling ervan (b.v. goed gebouwd, homogeen, niet homogeen), de dikte van de muur en de mogelijk toegepaste oppervlaktebehandeling; het materiaal dat de ondergrond voor de pleister vormt is ook van belang. Verder kan informatie nodig zijn over de aanwezigheid en gebruik van verwarming in het gebouw. Alle relevante architectonische interventies die hebben plaatsgevonden dienen ook in aanmerking te worden genomen (zo kan een muur die altijd aan regen en wind blootgesteld is geweest, door een later aanbouw een binnenmuur zijn geworden).

## 2.5. Locatie van de monsters

De bemonstering van het materiaal dient in een beschadigde zone te worden gedaan. De bemonstering van een niet beschadigde zone kan daarnaast zeer interessante referentiewaarden leveren (zie fig. 4). Een complete bemonstering moet op verschillende hoogtes plaatsvinden, langs een verticale lijn, maar ook op verschillende dieptes in de muur. Op zijn minst twee verticale profielen per beschadigde zone worden aanbevolen. Twee profielen maken ook een betere visualisatie van de distributie van vocht en zout in een zone mogelijk: die wordt door het Systeem berekend, doormiddel van interpolaties (zie fig. 6).



**Fig. 5: The values obtained measuring the MC and the HMC are visually represented**

- Face of the wall, 'inside' or 'outside'
- Add layer in depth
- Add profile
- ↓ ↓ Respectively MC and HMC graph represented in bar charts

**Fig. 6:** Distributie van vocht en zout in de muur (verschillende kleuren: blauw staat voor vocht en rood voor zout) over een muur; visuele vergave gebaseerd op drie verticale profielen.

De resulterende trends worden uiteindelijk gebruikt om de ernst van de situatie te bepalen en voor de keuze van de meest geschikte maatregelen. Niet altijd is overigens een zo volledige bemonstering nodig.

## 2.6. Welk materiaal kan het beste worden bemonsterd

Niet alleen de keuze van een representatieve zone, maar ook de keuze van het materiaal is van primair belang voor een goede bemonstering. Steen en mortel die de ondergrond van een beschadigde pleister vormen, kunnen een totaal verschillend gedrag vertonen, wat vochttransport betreft. Het is dus mogelijk dat de monsters van de baksteen geen relevant vochtgehalte tonen, terwijl de monsters uit de mortel juist veel vocht blijken te bevatten. De met die complete informatie verkregen profielen zullen zeer goed het vochtpatroon en de gevonden schade kunnen verklaren. De alleen in de baksteen genomen monsters zouden hoogstwaarschijnlijk een geheel verkeerd beeld opgeleverd hebben.

Aan het begin van een consultatie vraagt het Systeem naar de opbouw van een muur: uit welke materialen de muur bestaat en welke materialen met elkaar verbonden zijn (i.v.m. mogelijk transport van vocht en zouten). Verder is informatie over de homogeniteit of het ontbreken van homogeniteit van een serie monsters essentieel voor een correcte interpretatie van de meetresultaten.

## **2.7. Bemonstering: rekening houden met seizoenen**

Bij een bemonstering dient rekening te worden gehouden met mogelijke seizoengebonden veranderingen in het vocht aanbod. Een langdurig droog seizoen zal in het drogen van het metselwerk resulteren. Bemonstering in deze periode zal waarschijnlijk geen volledig inzicht verschaffen in de vochtbronnen die actief zijn op de bewuste locatie en vooral ook geen goed beeld geven van de hoeveelheid vocht in de muur. Ook een tijdelijke sterke verlaging van het grondwater niveau kan de waarden van de metingen beïnvloeden.

## **2.8. Zout- en vochtbronnen bepalen**

Verschillende zout- en vochtbronnen kunnen tegelijk op een locatie aanwezig zijn. Het Systeem geeft een grafisch weergave van vocht- en zoutverdeling binnen de zone. De gebruiker dient informatie over de muur in het Systeem in te voeren, zoals gezegd, maar ook informatie over de historie van het gebouw, wat kan helpen de gevonden stand van zaken en de verkregen meetresultaten te verklaren. Een lekkage kan zouten in een muur met zich meebrengen. Als de lekkage gerepareerd is, kan mogelijk geen spoor van vocht meer worden gevonden, maar een concentratie van zout in de muur zal de locatie aangeven waar de zouten zich verzamelden en het water verdampte. Zouten kunnen ook in een muur terechtkomen als gevolg van een zeewateroverstroming. De onder water gelopen delen van het gebouw zullen zouten bevatten, maar, door capillaire opzuiging, (optrekkend vocht), kunnen ook delen die niet onder water hadden gestaan zouten bevatten.

## **2.9. Diagnose en rapportages**

Alle consultaties eindigen met een rapport, dat de diagnose van de schade bevat, samen met alle stappen die zijn genomen om tot een diagnose te komen. Het Systeem zal twee typen diagnose genereren, met of zonder ondersteuning van metingen. Omdat MDDS-Compass een beslissing ondersteunend Systeem is, wordt de mening van de onderzoeker als zeer belangrijk beschouwd en de diagnose van de onderzoeker/gebruiker wordt altijd naast de diagnose van het Systeem in het rapport opgenomen (fig. 7).

De diagnose van de schade vormt de basis voor een advies over de te nemen maatregelen. Dit is uiteraard een zeer belangrijk en gevoelig punt. De informatie over de ondergrond, alsmede gegevens over de porositeit en homogeniteit daarvan worden gebruikt om de reden voor het falen van de al aanwezige pleister onder de gegeven omstandigheden te verklaren, en ook om over de keuze van een nieuwe pleister te adviseren. Een zal een fijn poreus pleistersysteem op een grof poreuze ondergrond, meer en sneller vocht en zouten uit de ondergrond absorberen dan een grof-poreus pleistersysteem, wat het ontstaan van schade in de pleister versnelt.

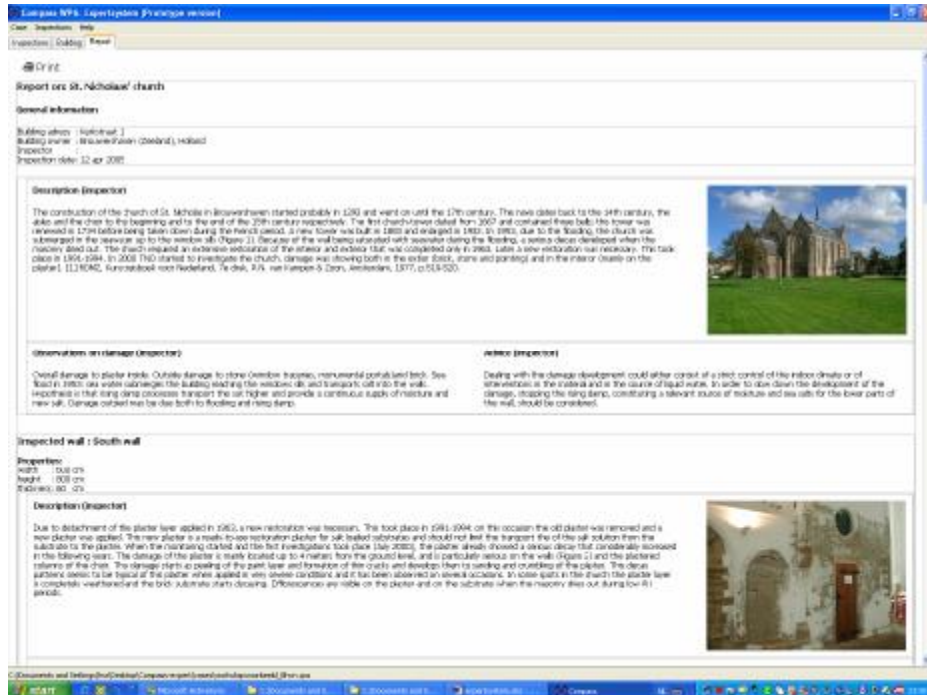


Fig. 7: Het door MDDS-Compass gegenereerde rapport

### 3. Risico factoren

De zout- en vochtbelasting en vooral de bron van het vocht zijn de cruciale elementen die het risico bepalen. De ondergrond zal ook een fundamentele rol spelen: een homogene en goed samengestelde baksteen muur zal makkelijker te behandelen zijn tegen optrekkend vocht, dan een niet homogene muur, met verschillende typen natuursteen en/of baksteen en met dikke en onregelmatige mortellagen. Het verwijderen van de vochtbron is een bepalende factor, die in aanzienlijke mate de mogelijkheid van vocht- en zouttransport en uiteindelijk kristallisatie verkleint. Zouten kunnen ook nog door RV wisselingen geactiveerd worden; een klimaat controle systeem zou in bepaalde situaties een effectieve oplossing kunnen zijn. Als het indringen van vocht niet kan worden tegengehouden, kunnen speciale ofwel restauratie pleistersystemen worden gekozen: deze garanderen een langere levensduur, dan gewone pleisters. De keuze kan dan gemaakt worden tussen transporterende pleisters, zout accumulerende pleisters, zoutblokkerende pleisters en vochtafsluitende pleisters. De karakteristieken van elk pleistersysteem dienen afgewogen te worden tegen de risicofactoren gerelateerd aan de context en dan kan de beste pleister onder de gegeven omstandigheden geselecteerd worden. Tenslotte dient ook rekening te worden gehouden met de risico's verbonden aan het aanbrengen van een nieuwe pleister, vooral als delen van de oude pleister nog aanwezig zouden blijven (compatibiliteit) (fig. 8); het System bevat achtergrondinformatie over de toepassing van pleistersystemen, over neveneffecten enz.; het is echter aan de inspecteur om te beslissen over de meest geschikte oplossing



**Fig. 8:** Problemen veroorzaakt door het aanbrengen van een betere pleister voor de zoutbelaste ondergrond: schade ontstaat in de bovengelegen oude pleister (wordt dus door de nieuwe als het ware naar boven verplaatst)

In sommige gevallen zal het niet nodig zijn, om de pleister in zijn geheel te verwijderen. Alleen de beschadigde zone zal worden vervangen, maar wel rekening houdend met de gevoelige overgangszones (fig. 9).



**Fig. 9:** Schade bij het raakvlak tussen nieuwe (onder) en bestaande (boven) pleister

#### 4. Conclusies

Het expert systeem MDDS-Compass is een interactief systeem dat de gebruiker helpt, vocht- en zoutbronnen te bepalen en een bij de aangetroffen omstandigheden passende restauratiepleister uit te kiezen. Het systeem maakt het ook mogelijk om een monumentaal gebouw uitvoerig te beschrijven. Gegevens over het gebouw, de aanwezige materialen en

de aangetroffen schadetypen kunnen worden geïntroduceerd. Schade Atlassen gericht op verschillende materialen en schademechanismen zijn ook beschikbaar. In de informatie-sectie van het Systeem wordt uitleg gegeven over o.a.:

- Vocht- en zoutbronnen
- Vocht- en zoutmetingen
- Pleisterclassificatie

## **6. Monitoring**

Door het in de tijd herhaald uitvoeren van inspecties en het beschrijven daarvan in het systeem, wordt het mogelijk het verloop van de staat van conservering van een gebouw (monument) te volgen, waardoor het systeem wordt gebruikt ten behoeve van het monitoren.

Gebruikers (actieve of potentiële) zijn:

Restauratiearchitecten

Monumentenwacht

Monumenten Beheer Instanties

Studenten, die zich specialiseren in instandhoudingstechnologie

Het Systeem is momenteel een werkend prototype. User interface en lay-out van de rapportages kunnen worden aangepast en nieuwe opties kunnen worden toegevoegd, om het Systeem aan de behoefte en de smaak van specifieke gebruikers (organisaties) aan te passen.

Het Systeem kan als leerinstrument gebruikt worden, en niet alleen op Universiteiten, waarbij er al goede ervaring mee opgedaan is; daarnaast wordt gedacht aan cursussen en workshops voor betrokkenen bij restauraties die focussen op diagnose en herstel van de schade aan monumenten. Het Systeem is modulair opgebouwd, en zal steeds uitgebreid worden.

## **7. Dankbetuiging**

Het werk aan MDDS resulterend in deze bijdrage is uitgevoerd binnen het EU Project COMPASS - Compatibility of Plasters and Renders with Salt loaded Substrates in Historic Buildings, contract no. EVK4-CT-2001-00047.

## **8. Literatuur**

- [1] K. Van Balen, J. Mateus, L. Binda, G. Baronio, R.P.J. van Hees, S. Naldini, L. Van der Klugt, L. Franke, Expert system for the evaluation of the deterioration of ancient brick structures, Research Report no 8 (vol. 1), European Commission, 1999, ISBN 92-828-6448-0, 1999.
- [2] R.P.J. van Hees, S. Naldini, L.J.A.R. Van der Klugt, Maintenance of pointing in historic buildings: decay and replacement, final report contract ENV4-CT98-706, December 2001.
- [3] EU Research Project COMPASS 'Compatibility of plasters and renders with salt loaded substrates in historic buildings' (EVK-CT 2001-00047)
- [4] R.P.J. van Hees, S. Naldini, An expert system for diagnosis and advice in building conservation, In: La conservacion del patrimonio en un entorno sostenible, M. Pilar de Luxan, Fernando Dorrego & Carlos Aymat eds., Madrid, June 2004, pp. 73-87

- [5] R.P.J. van Hees, S. Naldini, How to select a plaster for a salt loaded substrate. The use of an expert system for diagnosis and selection, Proceedings ICOMOS workshop "Enduits dégradés par les sels: pathologies et traitements" – Dossier technique no 6 - 2004, 14 Déc. 2004, Paris, 13p.
- [6] R.P. J. van Hees, S. Naldini & M. Sanders, An expert system for analysis of damage to plasters due to salt and moisture, in Proceedings Seminar 'Soluble salts in the walls of old buildings. Damages, processes and solutions', pp. 16.1-16.11, Lisbon, LNEC, 14-15 Februari 2005
- [7] B. Lubelli, R.P.J. van Hees, C.W.P. Groot, Performance of Restoration Plasters in the Presence of Sea-Salts: Investigation and Monitoring of a Case Study, Proceedings ICOMOS workshop "Enduits dégradés par les sels: pathologies et traitements" – Dossier technique no 6 - 2004, 14 Déc. 2004, Paris
- [8] B. Lubelli, R.P.J. van Hees, H.J.P. Brocken, Experimental research on hygroscopic behaviour of porous specimens contaminated with salt, Construction and Building Materials, vol.18, n.5, 2004, pp.339-348

## **MONITORING VAN CONSTRUCTIEVE PROBLEMEN: CASES**

**S. Ignoul, K. Brosens Triconsult n.v.  
J. Maertens, D. Van Gemert, K.U.Leuven  
W. Loosen, Libost N.V.  
V. Peeters, Studiegroep Omgeving N.V.**

### **Abstract**

Een eenvoudig meetsysteem om horizontale vervormingen op te meten wordt besproken. Deze convergentiemetingen kunnen, gecombineerd met de meer klassieke topografische opmetingen, inzicht verschaffen in hoe een structuur reageert op veranderende krachtswerking en wijzigende omgevingsinvloeden.

De toepassingsmogelijkheden van het convergentiemeetapparaat worden getoond aan de hand van de opmeting van horizontale verplaatsingen van de funderingsmassieven van de kolommen van de O. L.V. Basiliek in Tongeren. Het ganse binnenschip wordt voor de inrichting van een archeologische kelder uitgegraven tot op een diepte van meer dan 3 m. Daardoor ontstaat er gevaar voor het evenwicht van de funderingsmassieven. Tijdens de uitgravingen worden de bewegingen van de massieven opgevolgd via deze convergentiemetingen. Dit laat toe tijdens de uitgraving tijdig de nodige schoringswerken uit te voeren, zodat uitgravingen zo lang mogelijk kunnen gebeuren zonder stutten, en zonder de archeologen in gevaar te brengen. Alleen bij het einde van de opgravingswerken van de eerste fase (westelijk deel van het schip) moesten horizontale steunen aangebracht worden om het evenwicht te verzekeren. In de tweede fase (oostelijk deel van het schip) werden de convergentiemetingen gecombineerd met continue lasertheodoliet-metingen.

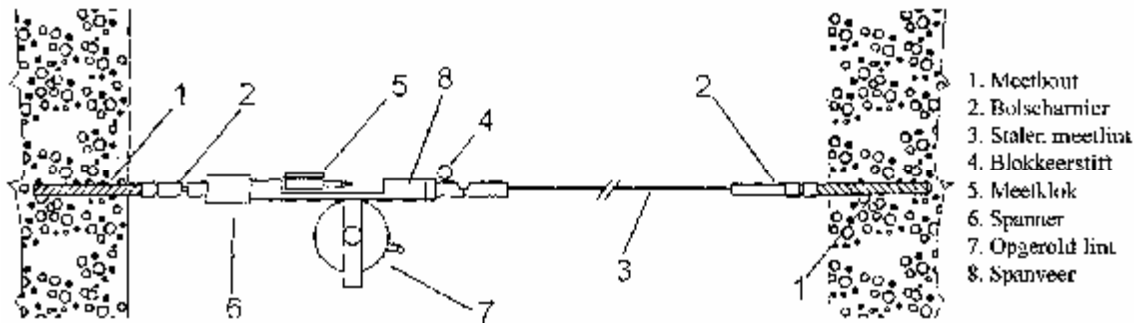
In een tweede voorbeeld wordt aangegeven hoe deze metingen meer inzicht kunnen verschaffen in de krachtswerking in het koor na het uitvoeren van de stabiliteitswerken in de St. Catharinakerk te Duisburg.

### **1. Inleiding**

'Meten is weten' is een veel gebruikte phrase in de wetenschappelijke wereld. Ook voor constructieve problemen is het van belang om een doordachte monitoring uit te voeren om complexe problemen beter te kunnen inschatten en te begrijpen. Bij een restauratie dienen dikwijls beslissingen genomen te worden waarvoor niet kan gesteund worden op de regels van nationale en internationale normen en voorschriften: een monitoringssysteem draagt hier bij tot eliminatie van onzekerheden, en dus het verhogen van veiligheid en economie.

Horizontale bewegingen in gebouwen en monumenten duiden aan hoe de krachtenverdeling in de loop van de tijd verandert door natuurlijke aanpassingen van funderingen en bouwmaterialen of door bijzondere ingrepen. Het nauwkeurig meten van dergelijke verplaatsingen met de normale topografische apparatuur blijft problematisch, omwille van de moeilijke bereikbaarheid, en omdat de grootte-orde van de ons interesserende wijzigingen in de horizontale verplaatsingen slechts 0,1 mm bedraagt. Met de huidige lasermeetapparatuur kan deze nauwkeurigheid benaderd worden, maar de interpretatie van de verkregen metingen blijft complex en vergt het nodige inzicht.

Het convergentiemeetapparaat is een apparaat om snel en eenvoudig de verandering van horizontale tussenafstanden op te meten. Het apparaat is schematisch voorgesteld in figuur 1.



**Fig. 1:** Principeschets convergentiemeetapparaat

De tussenafstand tussen ingelijmde ankers met nauwkeurig afgewerkte kop wordt opgemeten met een speciale stalen meetband. Met een geijkte spanveer wordt de meetband steeds op dezelfde spanning gebracht tijdens de aflezing. De aflezing op de meetklok is nauwkeurig tot op 0,01 mm. Het gehele systeem laat een nauwkeurigheid toe van minder dan 0,1 mm bij meetlengten tot 20 m.

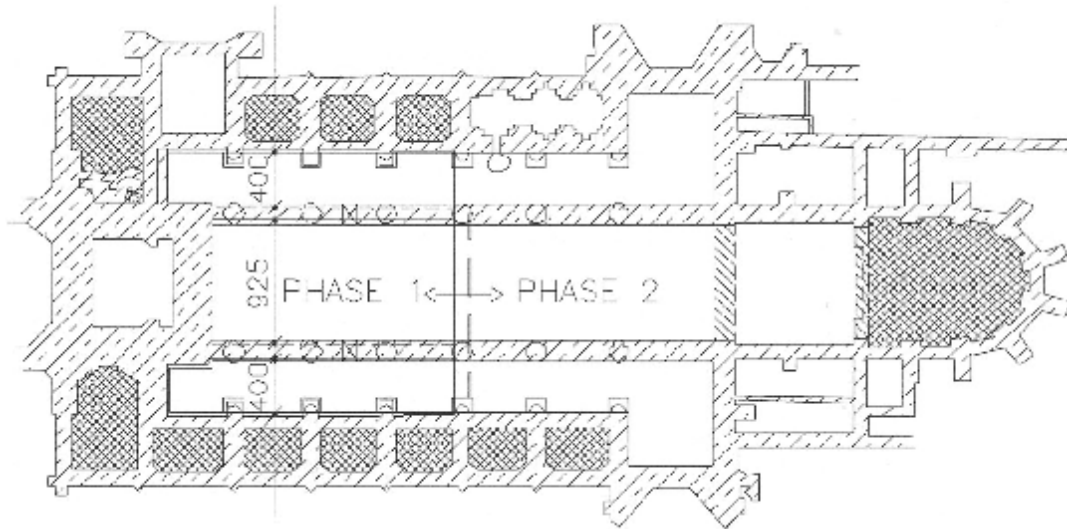
Het convergentiemeetsysteem laat toe op lokaties te meten waar het voor andere meetapparatuur zeer moeilijk, zo niet onmogelijk is om nauwkeurig te meten. Het opstellen van het apparaat vereist geen tijdrovende ingrepen.

## **2. Archeologische opgravingen O.L.V. Basiliek te Tongeren [1], [2], [3]**

### **2.1. Probleemstelling en meetprocedure**

In het kader van werken aan de kerkvloer, waarbij een nieuwe vloerverwarming voorzien zou worden, werd door het opdrachtgevend bestuur beslist om tevens archeologische opgravingen uit te voeren in het schip en in de zijbeuken van de kerk.

Opgravingen aan het Vrijthof-plein naast de kerk gaven reeds aan dat de kerk waarschijnlijk gebouwd werd op een zeer interessante archeologische site. In 1994-1995 werd door het kerkfabriek het licht op groen gezet voor de opgravingen in de basiliek. De constructie van een archeologische kelder onder de nieuwe kerkvloer moet toelaten om de opgravingen toegankelijk te maken voor het grote publiek en tegelijkertijd laat dit toe dat de vieringen in de kerk niet gehinderd worden. Het ontwerp is afkomstig van het architectenbureau Janssen bvba uit Tongeren. Structureel advies komt van Libost-groep uit Hasselt, in samenwerking met ir. Jan Maertens. Technologisch advies wordt verstrekt door het Laboratorium Reyntjens van het Departement Burgerlijke Bouwkunde van de K.U.Leuven en door het studiebureau Triconsult n.v., een spin-off van K.U.Leuven en het Laboratorium Reyntjens. De uitgravingen worden uitgevoerd door het Instituut voor het Archeologisch Patrimonium (IAP). De nodige consolidatie-ingrepen werden uitgevoerd door Denys N.V. In figuur 2 wordt een plan van de kerk getoond met de geplande uitgravingen.



**Fig. 2:** Plan van de archeologische kelder

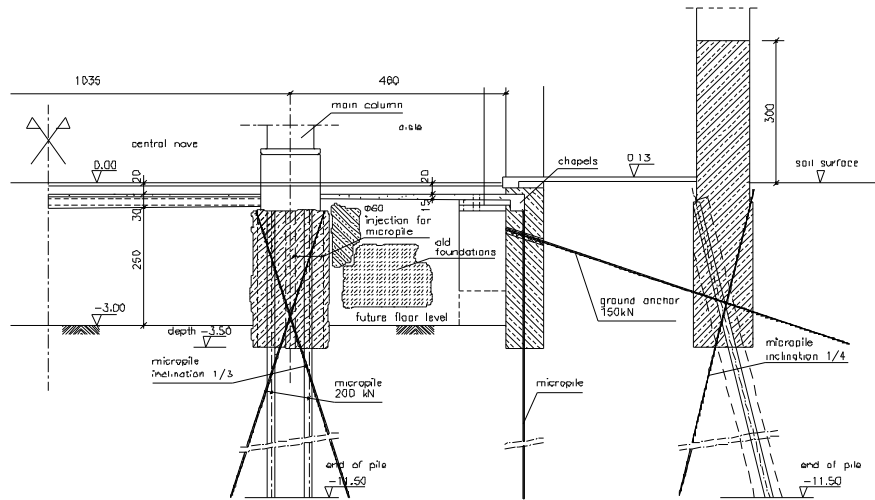
De eerste fase van het project werd gestart eind 1999 en beëindigd in 2001. De tweede fase werd aangevat eind 2004.

De kolommen van de kerk zijn gefundeerd op funderingsmassieven, bestaande uit nagenoeg los gestapeld natuursteenmetselwerk, verbonden met kettingmuren met een gelijkaardige opbouw. De aanzet van deze fundering bevindt zich op een diepte van 3 tot 3.5 m. Voor de constructie van een toegankelijke archeologisch kelder was het dus nodig om de funderingsmassieven bloot te graven tot aan hun aanzet. Het draagvermogen van een oppervlakte-gefundeerd massief is beperkt. Ook de draagkracht van het onsaamhangend natuursteenmetselwerk na het verwijderen van het omringende grondmassief is zeer twijfelachtig. Figuur 3 toont de kettingmuur onder de kolommen.



**Fig. 3:** Kettingmuur onder kolommen

Op basis van een voorstudie werd beslist om de funderingsmuren te injecteren met een hydraulische grout, op basis van hoogovencement CEM III. De geconsolideerde funderingsmassieven worden met micropalen afgestut op de dragende grondlagen op een diepte van 9 tot 10 m. De scheiding tussen de eerste fase van de opgravingen en de tweede fase werd gerealiseerd met behulp van een grondkerende berlinerwand. Figuur 4 geeft schematisch een overzicht van de uitgevoerde consolidatie-ingrepen in de archeologische kelder: micropalen, ingelijmde metselwerkankers, grondankers.



**Fig. 4:** Doorsnede van de archeologische kelder

Bijkomend werd gesteld dat tijdens de opgravingen een gepaste stutting moest voorzien worden tussen de kolommen, tot het moment dat de nieuwe betonvloer de eventuele aanwezige horizontale krachten kon overdragen. Deze stutten zouden echter de opgravingen sterk bemoeilijken, en vooral de registratie van archeologische vondsten storen.

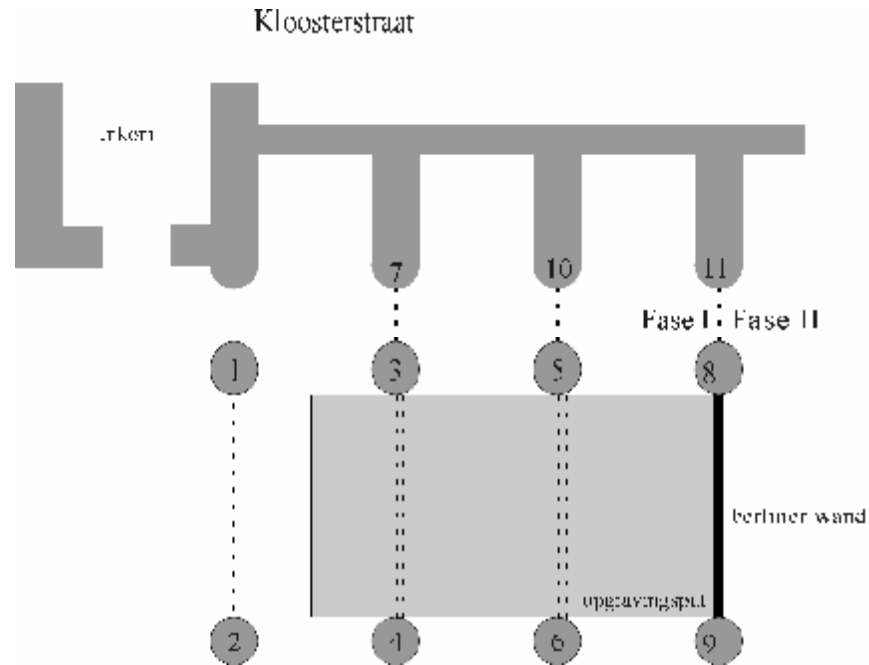
Daarom werd beslist om gedurende de opgravingen de horizontale bewegingen tussen de kolommen te monitoren. Het optreden van een horizontale verplaatsing kan immers wijzen op een plaatselijk falen van een funderingsmassief. Op deze manier kon de noodzaak van stutting uitgesteld worden tot op het einde van de opgravingen.



**Fig. 5:** Schip met kelder, fase I

Figuur 5 geeft een algemeen beeld van de opgravingen tijdens fase 1 in het schip van de basiliek.

Voor de meetcampagne van de uitgravingsfase I werden de bewegingen van 6 kolommen opgevolgd. De vaste meetpunten werden aangebracht aan de binnenzijde van de kolommen boven de sokkel in blauwe hardsteen. Voor de meetbasissen 3-4 en 5-6 werden eveneens meetpunten onderaan in de funderingsmuur geboord. Figuur 6 geeft schematisch de meetopstelling weer.



**Fig. 6:** Meetcampagne

De stippellijnen geven de afstanden weer die opgemeten worden. Iedere afstand wordt 3 maal opgemeten. Het gemiddelde van deze 3 metingen wordt afgetrokken van de referentiemeting. Dit geeft de opgetreden verplaatsing weer. De afstand tussen kolommen 8 en 9 boven de berliner wand wordt eveneens opgetekend als controle voor de metingen en als referentie voor metingen in de tweede opgravingsfase (zie figuur 2). In figuur 7 is het apparaat weergegeven. Het aflezen van het apparaat wordt getoond in figuur 8.



**Fig. 7:** Convergentiemeetapparaat



**Fig. 8:** Aflezen convergentiemeetapparaat

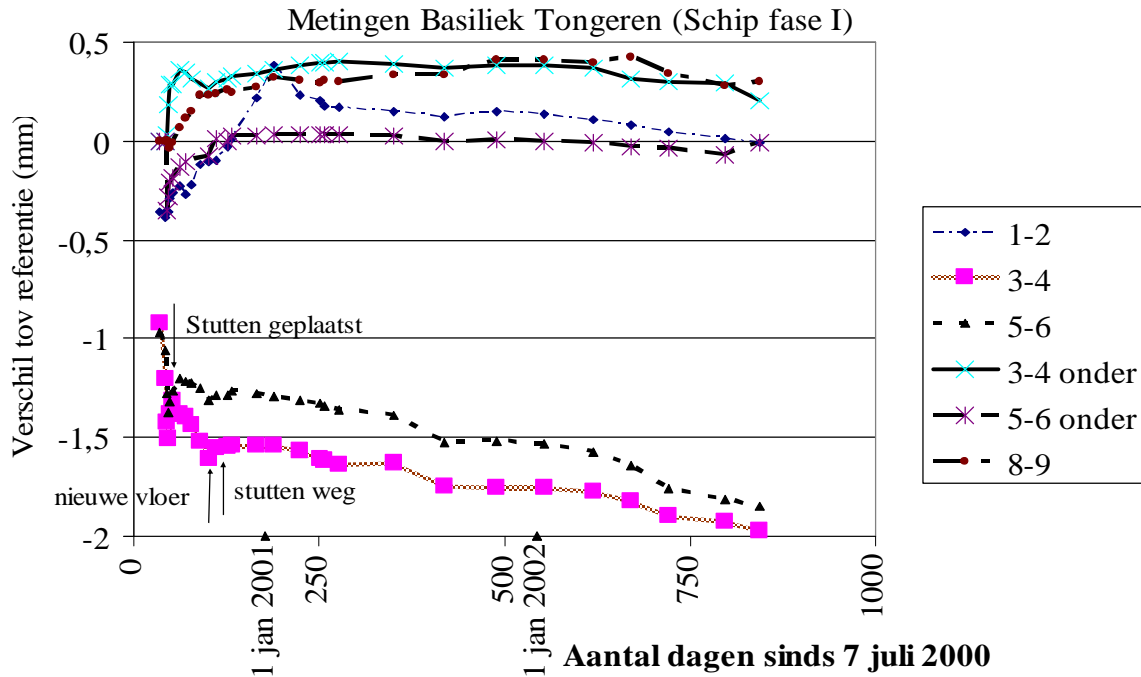
Een zicht van de opgravingsput (fase 1, augustus 2000) is gegeven in figuur 9.



**Fig. 9:** Opgravingsput, fase I, augustus 2000

## **2.2. Meetresultaten O.L.V. Basiliek**

De referentiemeting werd uitgevoerd op 7 juli 2000. Op dat moment was de archeologische kelder reeds tot een diepte van 2 m uitgegraven. Daarna werden ongeveer wekelijks metingen uitgevoerd om de horizontale verplaatsingen op te tekenen. In figuur 10 worden de resultaten van de metingen van de verplaatsingen in het schip in grafiekvorm weergegeven.



**Fig. 10:** Resultaten meetcampagne schip

De grafiek toont duidelijk aan dat na de referentiemeting de kolommen een binnenwaartse beweging ondergaan hebben. Deze beweging wordt versterkt opgemeten bij de volgende meetcampagnes. Er was dus duidelijk sprake van een naar binnen gerichte beweging van de kolommen. Op 21 augustus, 2000 werd dan ook beslist om schoren te plaatsen tussen de kolommen om verdere bewegingen tegen te gaan. Op de grafiek is duidelijk af te lezen dat na het plaatsen en opspannen van de schoren de beweging van de kolommen gestopt werd. Na het plaatsen van de vloerplaat konden de stutten verwijderd worden en werd de naar binnen gerichte beweging van de kolommen door de vloerplaat belemmerd.

Figuur 11 toont de draagelementen van de nieuwe vloer boven de kelder in het schip.



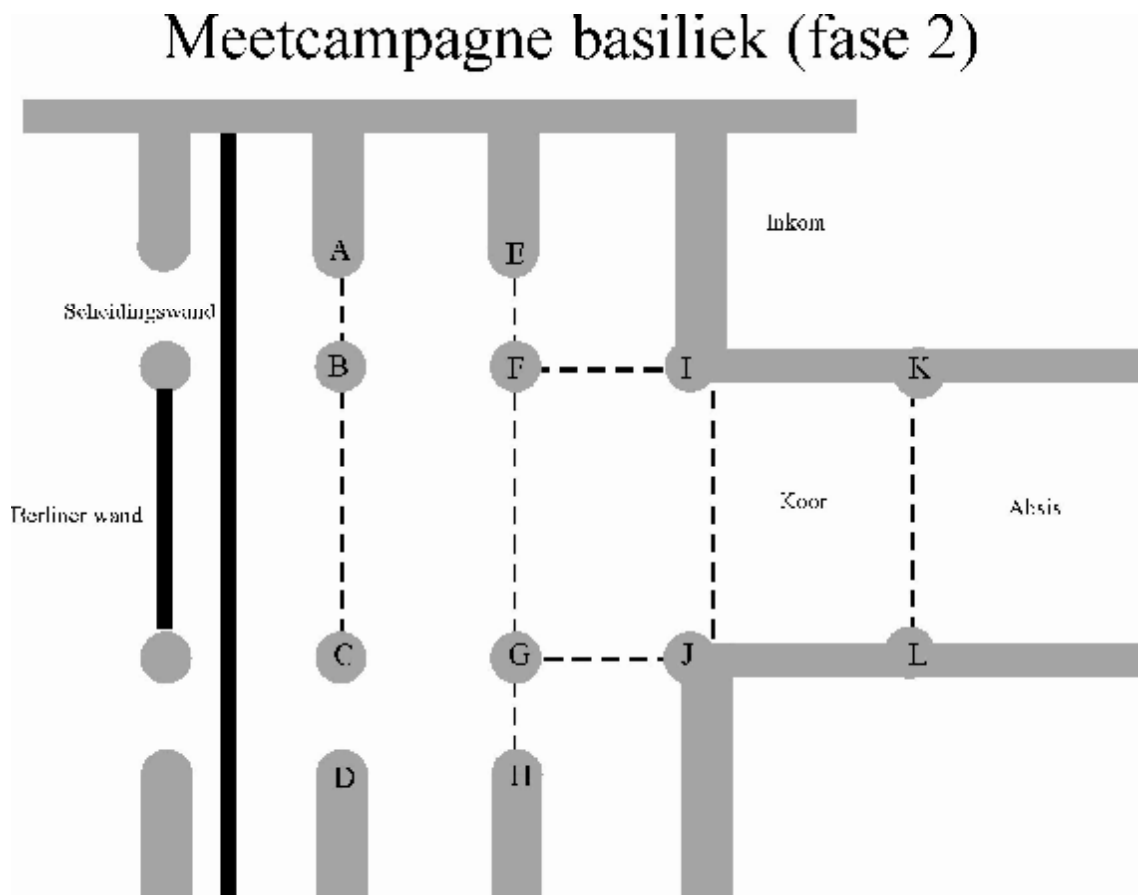
**Fig. 11:** Vloerconstructie schip

Figuur 12 toont de stutten in de kelder van het schip.



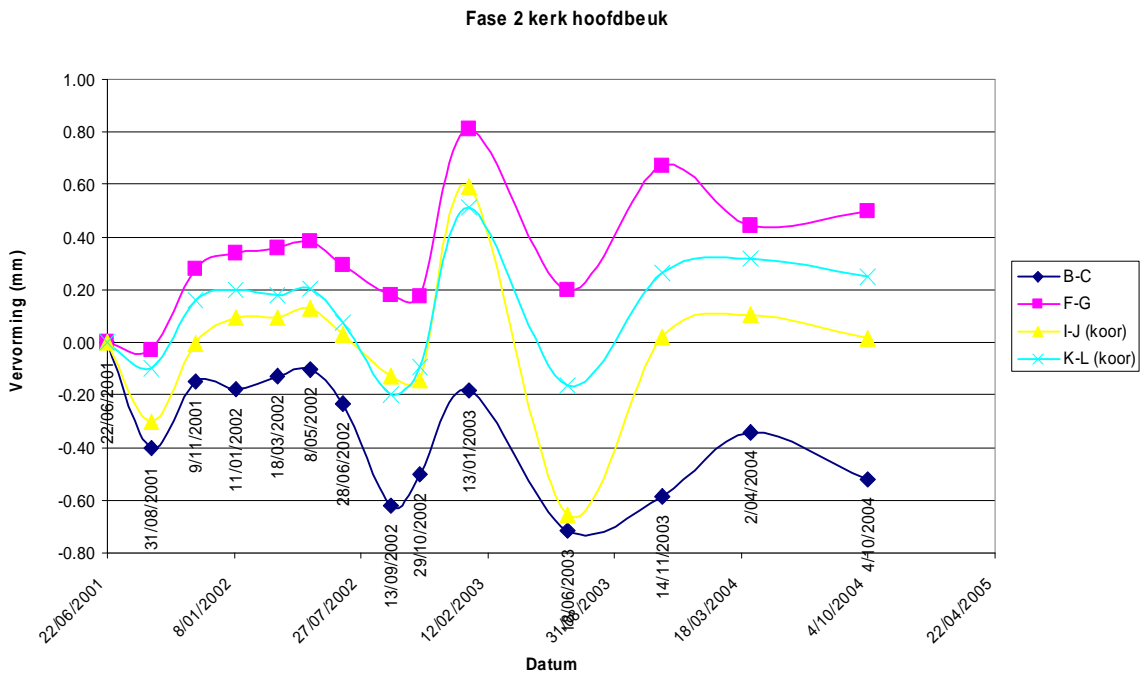
**Fig. 12:** Stutten schip

Vanaf einde 2004 lopen de archeologische uitgravingen van de tweede fase. Teneinde een beeld te krijgen over de seizoensinvloeden werden gedurende een periode van 2 jaar tussen de fases I en II der werken de convergentiemetingen verder uitgevoerd. Figuur 13 geeft schematisch de meetopstelling weer voor de 2de fase.



**Fig. 13:** Meetcampagne fase II

Uit deze metingen werd duidelijk dat tengevolge van seizoensinvloeden een cyclische vervorming met een amplitude van ongeveer 1 mm optreedt tussen de hoofdkolommen van het schip. Een cyclische verschil tot 2 mm is dus normaal te noemen. De metingen voor de hoofdbeuk tot de start der werken zijn getoond in figuur 14.



**Fig. 14:** Vervormingen fase II tot aanvang der werken

Tijdens de werken van fase II werden supplementair op de wekelijkse metingen continue (iedere 15 min.) topografische metingen uitgevoerd. Deze topografische metingen worden uitgevoerd met 2 vast gemonteerde computergestuurde laser theodolieten. Eén van de theodolieten is getoond in figuur 15.



**Fig. 15:** Lasertheodoliet zuidertransept

Met deze metingen is het mogelijk om zettingen, evenals scheefstanden van de kolommen te meten gedurende de werken. De metingen werden continue ingelezen in een computer

en kunnen aldus on-site door de aannemer en via een modemverbinding door de topograaf geraadpleegd worden. Anomalieën worden onmiddellijk gemeld aan het ontwerpteam, dat ook wekelijkse overzichten ontvangt van alle metingen.

Uit deze metingen bleek reeds de belangrijke invloed van de boorwijze voor de micropalen op het zettingsgedrag van de kolommen. Er werd dan ook tijdens de werken bijgestuurd en gekozen voor een meer trillingsvrije boring. Het zettingsgedrag is duidelijk merkbaar op bijgevoegde grafiek van de metingen in de periode mei 2005.

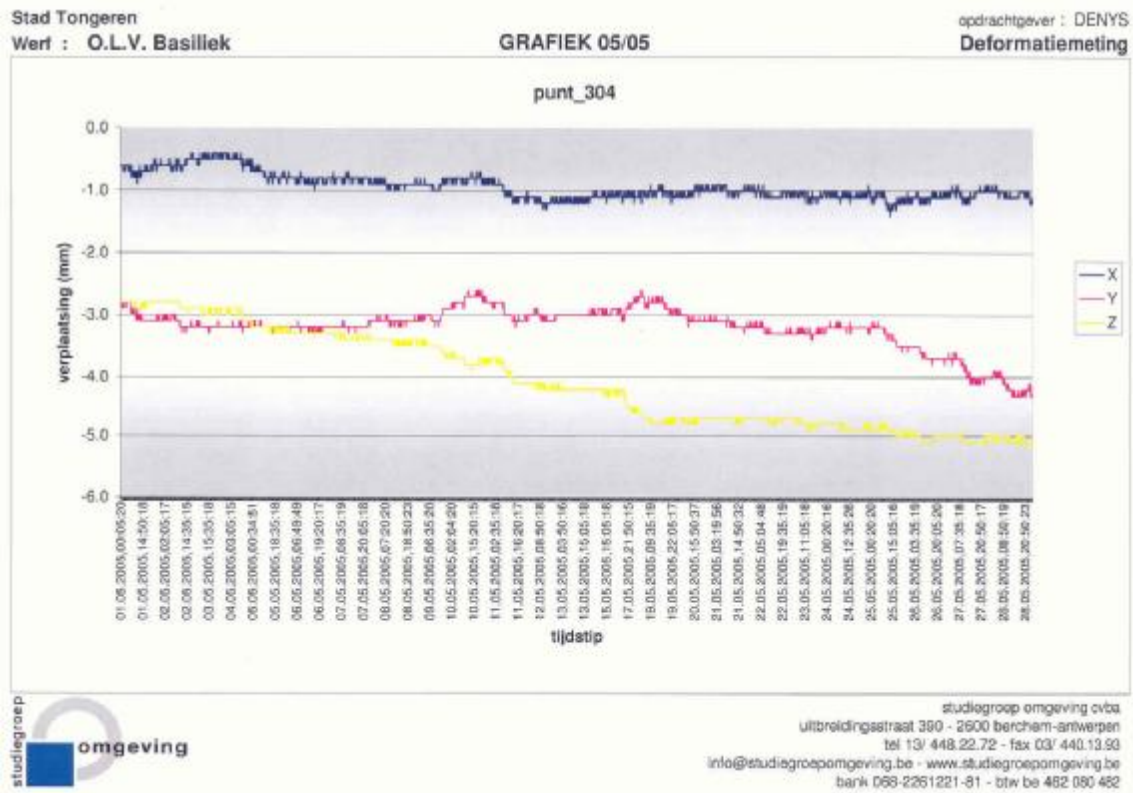
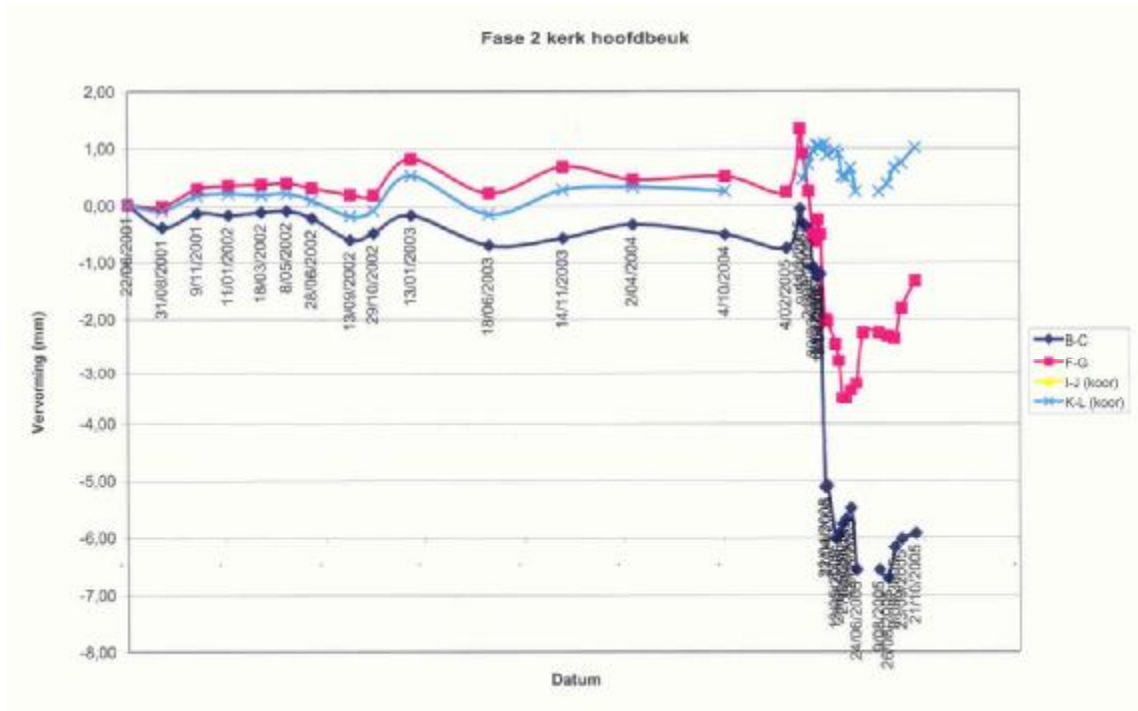


Fig. 16: Topografische metingen mei 2005

In bovenstaande grafiek is de invloed van het boren van micropalen onder kolom F (punt 304) duidelijk zichtbaar op zowel de z-coördinaat (verticale zakking) en de y-coördinaat (horizontale verplaatsing). Deze vervormingen werden ook geïdentificeerd bij de convergentiemetingen tussen kolommen F en G, zie onderstaande grafiek en later ook voor de metingen tussen kolommen B en C.

Bijkomend kunnen uit de continue metingen de daginvloeden (dag/nacht, rotatie zon,...) afgelezen worden.

Deze continue metingen gecombineerd met de wekelijkse convergentiemetingen leerden dat kolommen F en G sterk reageerden op de uitgevoerde werken. Dit bleek ook reeds uit de metingen op voorhand (zie figuur 14). De vervorming tussen kolommen F en G vertoonde de grootste amplitude. Bij verdere ontgraving bleek dat onder beide kolommen de kettingmuur onderbroken was, waardoor de stijfheid van de funderingen op deze locatie sterk verminderd was. Bijkomend bleek uit uitgevoerde sonderingen in de kerk dat ter hoogte van kolom G een zeer zwakke laag in de ondergrond aanwezig is. Er werden dan ook speciale maatregelen genomen ter consolidatie van de funderingen van kolommen F en G.



**Fig. 17:** Convergentiemetingen schip fase II

Op het ogenblik dat de verplaatsingen opliepen tot 4 mm (eind mei 2005, zie figuur 16) , zijnde tweemaal de normale cyclische verplaatsing vóór de werken, werden schoren geplaatst tussen de kolommen op een hoogte van 2 m boven het oorspronkelijke vloerniveau, waardoor ze de werken niet belemmerden.

Een beeld van de opgravingen in de hoofdbeuk van fase II is getoond in figuur 18.



**Fig. 18:** Opgravingsput fase II

### 3. Sint-Catharinakerk te Duisburg [4]

De Sint-Catharinakerk te Duisburg werd gebouwd in de 13de eeuw. Het koor werd later vervangen door een gotische constructie. De lange slanke steunberen van het koor (15 meter hoog) waren echter niet in staat om de drukken van de natuurstenen gewelven voldoende op te vangen. In de loop der eeuwen heeft dit geleid tot het naar buiten duwen van de muren en het splijten van het apsis van de kerk. Het koor van de kerk wordt getoond in figuur 19.



**Fig. 19:** Koor St.-Catharinakerk te Duisburg (Tervuren, B)

Tijdens een eerdere restauratiecampagne, waarschijnlijk in de 18de Eeuw, werden 4 smeedijzeren trekkers aangebracht in de kerk om de gewelfdrukken op te vangen. Deze ankers werden echter te laag geplaatst en verankerd in de zwakke muurschelpen, zodat extra scheuren en indeukingen ontstonden. De oude ankers in het koor zijn getoond in figuur 20.

Bijkomend bleek dat door een te zwakke ondergrond differentiële zettingen scheuren in de koorgevels hebben veroorzaakt. Begin jaren 80 werd door de Kerkfabriek en het Gemeentebestuur van Tervuren de opdracht gegeven aan architecte Denise Debrouwer om een volledig restauratieplan van de kerk uit te werken. In de jaren 80 werden eerst de toren en het dak aangepakt. De werken aan het koor en de buitengevels liepen van 1998 tot 2002. Het restauratieproject werd technologisch ondersteund door het Laboratorium Reyntjens van het Departement Burgerlijke Bouwkunde van de K.U.Leuven. Structurele begeleiding werd geleverd door Triconsult n.v., een spin-off raadgevend ingenieursbureau van het Departement Burgerlijke Bouwkunde van de K.U.Leuven.



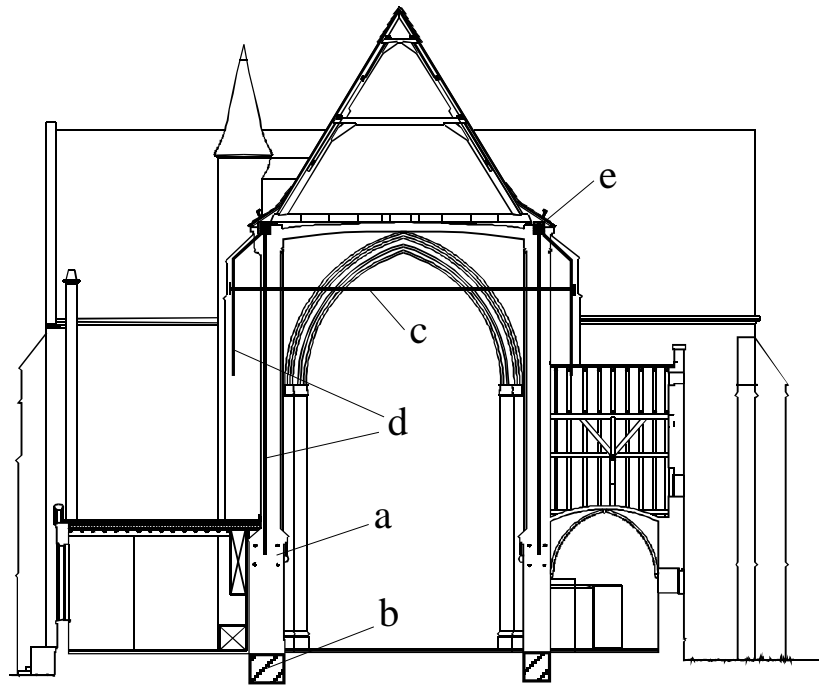
**Fig. 20:** Oude ankers

Om een antwoord te bieden aan de stabiliteitsproblemen van het koor werd een 2-ledige oplossing bedacht. Enerzijds werd met behulp van ingeboorde en ingelijmde ankers een metselwerk-ringbalk onderaan de koorgevel geconstrueerd. Deze ringbalk verhindert het optreden van scheuren tussen verschillende gevelvlakken ten gevolge van differentiële zettingen. Anderzijds worden de steunberen verstijfd door middel van ingeboorde verticale ankers. Deze verticale ankers worden bovenaan verankerd in een betonnen ringbalk die op de koormuur gegoten wordt en onderaan worden deze ankers geboord tot in de ringbalk die eerder geconstrueerd werd. Drie nieuwe ankers op de juiste hoogte en degelijk verankerd moeten de huidige herstelde toestand vrijwaren van toekomstige standzekerheidsproblemen.

Door het vervangen van de oude trekkers op het niveau 10.66 m en door de plaatsing van nieuwe trekkers op het niveau 12.50 m wordt de krachtswerking op de steunmuren en steunberen van het koor grondig gewijzigd: de krachten grijpen aan op een verschillende hoogte, en de aangrijpingspunten op de penanten tussen de ramen verschuiven horizontaal naar de steunberen. Als controle op de uitgevoerde stabiliteitswerken worden de krachten in de oude en in de nieuwe ankers opgemeten met behulp van rekstrookjes. Eveneens worden de horizontale verplaatsingen opgemeten ter hoogte van de betonnen ringbalk (zolder), de nieuwe trekkers en de oude trekkers, en ter hoogte van de ingeboorde ankers van de metselwerk-ringbalk.

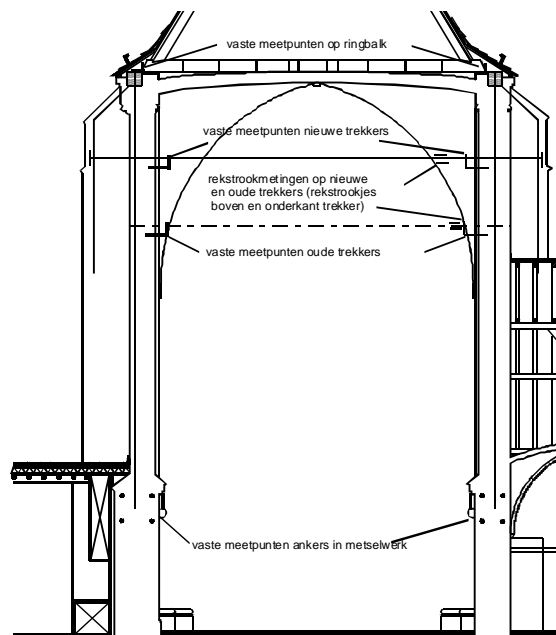
De voorgestelde ingrepen worden schematisch weergegeven in figuur 21.

De meetplaatsen worden getoond in figuur 22.



- a: metselwerk 'balk'
- b: geconsolideerd funderingsmetselwerk t.h. v. deuropeningen
- c: gewelfanker
- d: steunbeerwaping
- e: betonnen ringbalk op de koormuren

**Fig. 21:** Versterkingswerken koor



**Fig. 22:** Meetcampagne koor

Na het plaatsen en opspannen van de nieuwe trekkers en het uitvoeren van de overige versterkingswerken konden de oude trekkers verwijderd worden, zie figuur 23.



**Fig. 23:** Doorzagen oude ankers

Gedurende de werken voor het plaatsen van nieuwe trekkers, demonteren steunberen, opspannen nieuwe trekkers, doorzagen oude trekkers, werden convergentiemetingen uitgevoerd en werden de krachten in de trekkers opgemeten. Figuur 24 toont het aflezen van het convergentiemeetapparaat op zolder bovenop de gewelven.

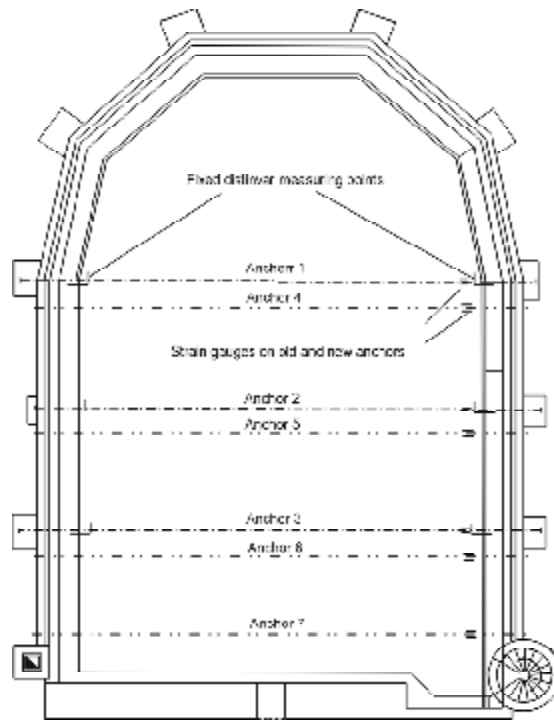


**Fig. 24:** Convergentiemetingen op zolder St. Catharinakerk

Het is duidelijk dat de metingen uitgevoerd kunnen worden op lokaties waar het met een normale meetopstelling (b.v. (laser)theodoliet) zeer moeilijk zo niet onmogelijk is om de metingen uit te voeren.

De convergentiemetingen lieten toe om de spankracht in de trekkers zodanig te bepalen dat de uiteindelijke totale vervorming van de kerk nul was, om afscheuring van de gewelven te vermijden.

In figuur 25 worden de posities van de oude en de nieuwe trekkers weergegeven. In de bijbehorende tabellen worden de krachten weergegeven dewelke initieel aanwezig waren in de oude trekkers en na doorslijpen en opspannen optraden in de nieuwe trekkers.



**Fig. 25:** Positie oude en nieuwe trekkers St.-Catharinakerk Duisburg

Nieuwe ankers	Kracht [kN]
A1	45
A2	53
A3	63

**Tabel 1:** Krachten in nieuwe trekkers onmiddellijk na doorslijpen oude trekkers (2002)

Oude ankers	Kracht [kN]
A4	83
A5	7
A6	48
A7	80

**Tabel 2:** Initiële krachten in oude trekkers

De initiële krachten in de oude trekkers konden pas bepaald worden nadat de elasticiteitsmodulus van de oude trekkers in het laboratorium bepaald werd.

Twee jaar nadat de oude trekkers verwijderd werden, werd een nieuwe meting uitgevoerd om de aanpassing van de metselwerkstructuur aan de nieuwe situatie te kunnen inschatten. De nieuwe krachten zijn aangegeven in tabel 3.

Nieuwe ankers	Kracht [kN]
A1	77
A2	110
A3	---

**Tabel 3:** Krachten in nieuwe trekkers 2 jaar na doorslijpen oude trekkers (2004)

Uit de resultaten blijkt dat de krachten sterk toegenomen zijn in de nieuwe trekkers. Door een defect in het bovenste rekstrookje van trekker A3 kon de kracht in deze trekker evenwel niet bepaald worden, de meting in het onderste rekstrookje toonde evenwel een zelfde tendens aan als opgemeten voor trekker A1 en A2 (toename van de kracht). De

resulterende vervormingen bleven beperkt en bleven binnenwaartsgericht ten opzichte van de initiële toestand. De evolutie van de ankerkrachten wordt verder opgevolgd.

De toename van de krachten in de nieuwe trekkers en de beperkte vervormingen ter hoogte van de 'ringbalken' tonen aan dat het metselwerk van het koor zich langzaam aanpast aan de nieuw gecreëerde situatie en dit volgens het model dat gebruikt werd om de krachtswerking te begroten.

De nieuwe hoger geplaatste trekkers worden benut om de spatkrachten van de gewelven op te vangen, met een verschuiving van de druklijn in de gewelven tot gevolg. Deze verschuiving van de druklijn resulteert tevens in een meer uniforme spanningsverdeling op de funderingen van de steunberen, hetgeen ook beoogd werd.

#### **4. Besluit**

Monitoring van constructieve problemen is zeer belangrijk bij complexe restauraties. Ze laat toe om een beter begrip te verkrijgen van de reacties van het gebouw op structurele ingrepen. Het is evenwel niet steeds mogelijk om enkel met normale topografische toestellen de gewenste informatie te bekomen.

Het opmeten van horizontale verplaatsingen kan gemakkelijk en betrouwbaar gebeuren met behulp van een convergentiemeetapparaat. De nauwkeurigheid is voldoende hoog om adequate beslissingen te ondersteunen inzake standzekerheidsaspecten. Het gebruik van het convergentiemeetapparaat laat toe om bij de opgravingen in de O.L.V. Basiliek te Tongeren de hinder van aanwezige stutten tot een minimum te beperken. In de St.-Catharinakerk kan aan de hand van de metingen een beter inzicht verkregen worden in de krachtswerking in het koor na het uitvoeren van de stabiliteitswerken.

Beide toepassingen tonen aan dat monitoring van verplaatsingen en krachten bijdragen tot betere inzichten in de veiligheidssituatie van complexe structuren, en essentieel zijn voor een correcte inschatting van structurele risico's.

#### **5. Referenties**

- [1] Vanderhoeven A., Van Gemert D. 'Accessibility and Protection of Ancient Walls at the "Vrijthof"-site in Tongeren.' The Art of Compromising. CARE Workshop on Preservation of Ancient Walls and Presentation of Designs from Colchester, Tongeren and Maastricht, Maastricht 10-11 December 1998, 10 p.
- [2] Van Gemert D., Ladang C., Carpentier L., Geltmeyer B. 'Consolidation of the Tower of St. Mary's Basilica at Tongeren', Int. Zeitschrift für Bauinstandsetzen, 1995, pp. 371-392.
- [3] Van Gemert D. 'Consolidation and underpinning of the foundations of St. Mary's Basilica at Tongeren (B)', International Congress on URBAN HERITAGE - BUILDING MAINTENANCE Restrengthening of materials and structures, Zürich, Aug/Sep 2000.
- [4] Van Gemert D., Ignoul. S., Debrouwer D., 'Restoration of the church of St. Catharina at Duisburg(B)', Internationales Kolloquium: Materials Science and Restoration V, Esslingen Nov./Dec. 1999, pp. 1339-1352.

# ONLINE METEN VAN OP AFSTAND. MONITORING IN HET DIGITALE TIJDPERK.

Jo Blomme, Stamotec b.v.b.a

## Abstract

Gebouwen bewegen en vervormen continu, door klimatologische en omgevingsfactoren maar uiteraard ook door hun belasting en slijtage. In deze bijdrage wordt de huidige stand van zaken beschreven op het vlak van digitale meettechnieken om deze vervormingen op te volgen, met de nadruk op optische sensoren. Dit met als bedoeling bij te dragen tot een duidelijke schade-analyse en prognose van schade-progressie.

## 1. Inleiding

In vorige bijdragen is vooral getracht een antwoord te formuleren op vragen zoals: is monitoring in de monumentenzorg nodig, waarom is monitoring nodig, wat kan men allemaal gaan monitoren, hoe ver kan en wil men daarin gaan, hoe kan monitoring ons helpen om een duidelijke schade analyse te maken...

Mensen die in het verleden al te maken gehad hebben met monitoring campagnes hebben soms ook een aantal bedenkingen zoals :

- Wat is de betrouwbaarheid van deze metingen?
- Meten we niet teveel randeffecten, de zogezegde ruis op het meetsignaal?
- Hoe kiezen we de meetpunten?
- De massa aan meetresultaten die bepaalde campagnes opleverden, 'verdoezelt' soms de essentie.
- Wat doen we met de eindeloze tabellen met meetwaarden?
- Te grote meetfouten laten ons niet toe kort op de bal te spelen bij dreigende stabiliteitsrisico's.
- Ofwel meet men bv. een scheurbreedte op ofwel meet men een mogelijke vervormingoorzaak zoals bv. windbelasting, trilling, ... op. Maar is er een verband?
- Welke waarde hebben periodieke metingen? Wat gebeurt er tussen twee metingen door?
- ....

Vele van de vorige vragen zijn terug te leiden naar een hardware probleem. Tot begin de jaren negentig had de meeste monitoring apparatuur te kampen met volgende problemen:

- De sensoren waren uitermate geschikt voor labo toepassingen maar op de bouwplaats was de betrouwbaarheid twijfelachtig.
- De sensoren waren duur en hadden slechts een zeer beperkte levensduur (meestal maximum 2 tot 3 jaar).
- Lange monitoring campagnes ( meer dan 10 jaar) waren onmogelijk.
- Hoge meetfouten. Vb. topografische opmetingen.
- Moeilijke interpretatie van de meetwaarden die vaak nog eerst dienden omgerekend te worden. Vb. metingen met rekstrookjes.
- De meeste metingen waren periodieke metingen waarvoor meestal meerder personen zich telkens naar de bouwplaats moesten begeven. Vb. metingen van scheuren met getuigenplaatjes.
- Bij continue metingen werd meestal gebruik gemaakt van elektrische sensoren met volgende nadelen:
  - o Gevoelig voor magnetische velden.
  - o Bij stroomuitval verloor men de referentiewaarde.
  - o Snelle veroudering en verandering van de nulwaarde.

- De kans op brand of explosie bij een defect van de sensor of bekabeling.
- De afstand tussen sensor en monitoringstation moest beperkt gehouden worden of het signaal moest versterkt worden met verlies van nauwkeurigheid tot gevolg.
- Bij de meeste systemen was het niet mogelijk om een aantal normale vervormingoorzaken zoals temperatuurschommelingen mee te betrekken in de meetcampagne. Hierdoor werden bepaalde trage schade evoluties overschaduwd door de veel grotere temperatuurswerking.
- ...

Eind de jaren tachtig ontwikkelde een Frans-Duits consortium de technologie om op al deze opmerkingen en vragen een antwoord te bieden. De groep testte uitvoerig alle mogelijke meettechnieken en koos uiteindelijk voor de vezeloptische intensiteitmeting als de techniek bij uitstek. Deze techniek werd gepatenteerd en gecommmercialiseerd volgens een leasing formule. Hierbij kan men het systeem en de consultancy die erbij hoort gaan leasen voor de duur van het project. Dit voor zowel kleinschalige projecten als voor zeer grote en vaak langlopende projecten. Een aantal wereldgekende referenties die al jaren lopende zijn, zijn de Eiffeltoren, de Kathedraal van Beauvais, de Dom te Keulen en Aken, Federal Hall in New-York, de obelisk op de place de la Concorde te Parijs, de kathedraal te Meissen in Duitsland, Château de la Roche-Guyon in Frankrijk ... Meer recent zijn ook volgende monumenten onder permanente monitoring gezet : de Apollon galerij van het Louvre te Parijs, de Dôme des Invalides te Parijs, de St-John cathedral te New-York, het Hiroshima Memorial in Japan, het droogdok Jan Blanken te Hellevoetsluis, de Onze-Lieve-Vrouw kerk te Brugge,...

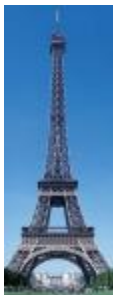
## 2. Vezeloptische monitoring

### 2.1. Het principe

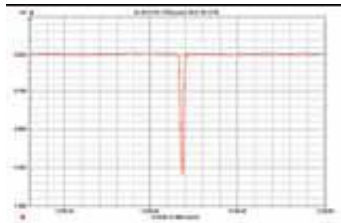


Wanneer een optische vezel gebogen wordt, verliest de lichtstraal die door de vezel gestuurd wordt een deel van zijn intensiteit. Door de meting van de hoeveelheid teruggekaatst licht kan men het verlies aan lichtintensiteit berekenen. Dit verlies is een maat voor de vervorming.

### 2.2. De voordelen



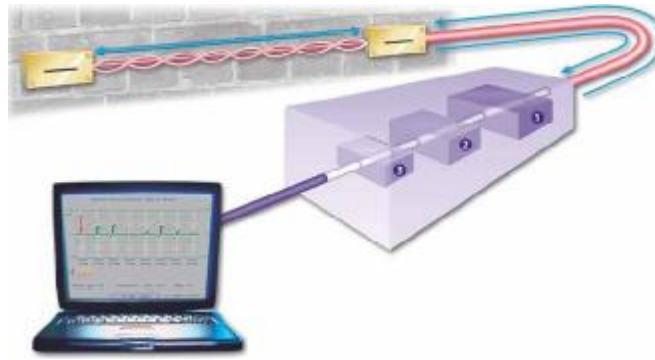
- De lange levensduur  
Op deze familie sensoren kunnen garanties tot 20 jaar gegeven worden. Hierdoor is het mogelijk een referentie bij de start van het monitoringproject in te stellen die behouden blijft voor de toekomst en naar waar iedere ingreep aan het monument kan gerefereerd worden. Bovendien kan ook de invloed van een ingreep in de omgeving van het monument gevolgd worden.



- De meetnauwkeurigheid  
Optische sensoren die gebruik maken van lichtintensiteitsmetingen kunnen meten met nauwkeurigheden van 0,001 mm
- De meetbasis  
De meetbasis kan zeer groot genomen worden (tot 20 m). D.w.z. men is niet genoodzaakt een bepaald meetpunt te kiezen maar wel een veel ruimere meetzone. Hierdoor kan met één sensor een veel grotere zone gemonitord worden.
- De meetsnelheid  
Het versturen van de meetinformatie gebeurt met de lichtsnelheid. Hierdoor kan men met dezelfde sensor niet alleen het statische of lange termijngedrag gaan monitoren maar ook het dynamische of korte termijngedrag.  
vb. het effect van een windstoot op een kerktoeren of het effect van de trillingen veroorzaakt door een vrachtwagen die voorbij een gemonitord monument rijdt...
- De ongevoeligheid voor magnetische velden  
De sensoren kunnen in de nabijheid van tram- en treinleidingen geïnstalleerd worden zonder dat de metingen door de aanwezigheid van het magnetisch veld beïnvloed worden
- Het systeem is volledig brand- en explosie veilig  
Bij breuk van een sensor of van de bekabeling is er geen enkele kans op vonken die brand of explosie kan veroorzaken want alle signaal overdracht gebeurt optisch.
- De sensoren zijn niet storend voor het esthetisch karakter van het monument  
De sensoren zijn zeer klein en kunnen op een esthetisch verantwoorde manier blijvend geïnstalleerd worden aan de binnen- of buitenkant van het monument.

### 2.3. De dataverwerking

De dataverwerking gebeurt in het monitoringstation waar ook 'oorzaaksensoren' kunnen op aangesloten worden. Zo kan temperatuur, vochtigheid, windsnelheid en windrichting, trillingen, helling, neerslaghoeveelheid, grondwaterstand, enz. opgemeten en in relatie gebracht worden met de opgemeten vervormingen.

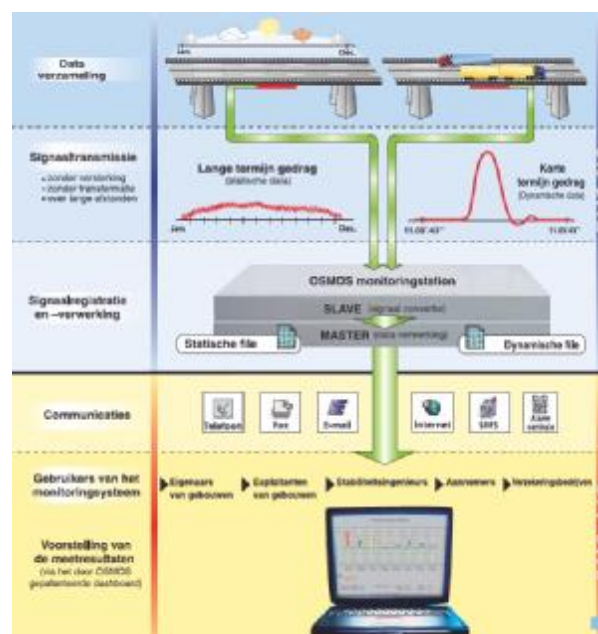


De opgemeten data worden voorlopig gestockeerd in het monitoringstation en viermaal per dag doorgestuurd via een telefoonlijn naar de databankserver.

Via een beveiligd paswoord kan de architect, ingenieur of iemand anders van het restauratieteam inloggen op de databankserver. Hierbij kan men niet alleen de meetwaarden van het verleden gaan raadplegen en eventueel downloaden, maar men brengt ook een live verbinding met de gemonitorde constructie tot stand. Hierdoor kan men van op afstand, zonder vertraging van tijd de deformaties gaan opvolgen.

In overleg met het restauratieteam wordt de rapporteringfrequentie bepaald. In deze stabiliteitrapporten wordt door de monitoringexpert een blue-print gegeven van het structuurgedrag tijdens de voorbije periode en worden deze meetgegevens geïnterpreteerd. Eventueel kunnen suggesties gemaakt worden naar de aangewezen interventie.

### 2.4. Automatische alarm functie



Bij het overschrijden van het vooraf ingesteld pré-alarm en alarm wordt de gebruiker van het systeem automatisch en zonder vertraging op de hoogte gebracht via email, fax, sms,... Dit voor zowel statische als dynamische metingen.

## 2.5. De software

De software wordt eveneens via Internet beschikbaar gesteld voor de duur van het monitoringproject. Zo werkt de gebruiker continu met de meest actuele programma's en worden er geen extra verrekeringen gemaakt bij weeral een nieuwe versie van de software.

Men kan gebruik maken van een aantal standaard voorziene voorstellingsmethoden zoals :

- de dashboard voorstelling = om snel een indruk te krijgen van de actuele toestand van de constructie
- de oscilloscoop voorstelling = om live alle fluctuaties van de metingen te volgen
- XY-grafieken = om tijdens de analyse van de data interferenties te detecteren tussen bepaalde meetwaarden
- Polaire diagramma's = om differentiële zettingen weer te geven
- Histogrammen = voor een statistische weergave van vervormingsklassen
- Fourier transformatie = voor de bepaling van de eigenfrequentie van de structuur

Of men kan de meetwaarden wegschrijven als Excel file en hiermee andere soorten grafieken maken.

Bovendien kan alles wat men op het scherm bekomt weggeschreven worden als jpg-file zodat rapporten hiermee kunnen geïllustreerd worden.

## 3. Case study : Dôme des Invalides te Parijs – Graftombe van Napoleon



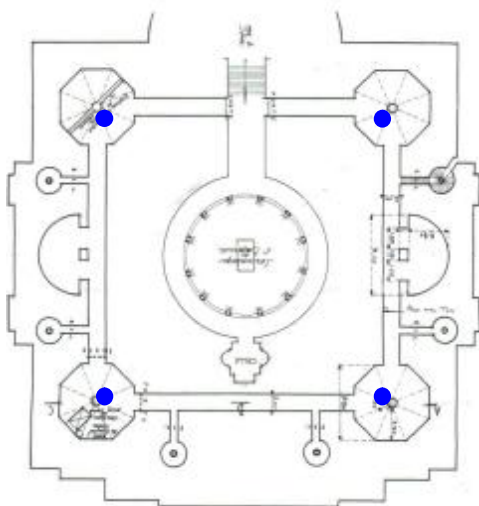
### 3.1. Context

De wereldbekende Dôme des Invalides is gebouwd tussen 1678 en 1691. Het gebouw is vooral gekend voor de graftombe van keizer Napoleon die sinds 1861 hier ondergebracht is. In september 2001 werden de eerste scheuren vastgesteld tijdens een periodieke inspectie. Het geheel van de vervormingen en scheuren werd beschreven in een rapport van de restauratiearchitect d.d. oktober 2003. Het gaat hem vooral om scheurvorming in de gewelven van de oost-, west- en noordzijde, scheurvorming in de ringbalk van de koepel en scheuren in de betegeling rond de graftombe van Napoleon

De bouwheer liet een optisch monitoringstelsel installeren om permanent de vervormingen en hun evolutie op te volgen. Op regelmatige tijdstippen wordt er een monitoringrapport opgesteld die de 'blue-print' van het structuurgedrag weergeeft. Het is de bedoeling om tijdig te kunnen ingrijpen indien er een stabiliteitsrisico zich voordoet en om voldoende gegevens te verzamelen om een gerichte oplossing voor het probleem te definiëren.

### 3.2. De geïnstalleerde sensoren

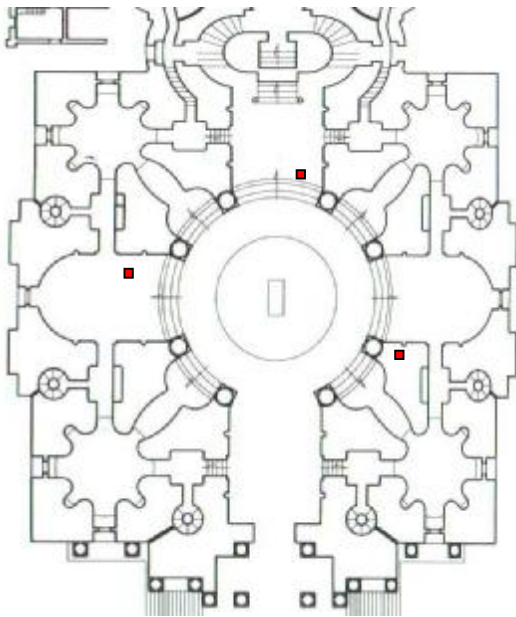
- 4 optische koorden van 2 m lang  
Deze optische koorden zijn verticaal geïnstalleerd op vier kolommen in de crypte en meten de samendrukking en de uitrekking van de kolommen die ontstaat door een combinatie van differentiële zettingen in de ondergrond en de traagheid van de constructie. Rekening houdend met de zeer hoge meetgevoeligheid (0,001 mm) geeft dit ons een duidelijk signaal dat indicatief is voor de globale differentiële zetting van het gebouw.



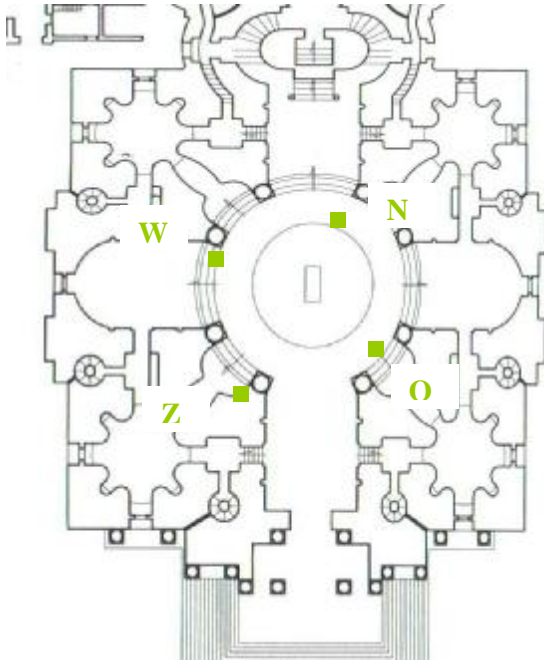
- 1 optische koord van 2 m lang op de ringbalk van de koepel  
Deze optische koord meet de globale vervorming van de ringbalk



- 3 optische extensometers  
Om de scheurvorming van drie belangrijke scheuren in de verschillende assen van het gebouw te meten



- 4 uni-axiale inclinometers  
Deze sensoren meten continu de hoekverdraaiing of helling van de ondergrond waarop ze gemonteerd zijn. In dit geval is dit de kroonlijst boven vier kolommen.



- 4 temperatuursensoren  
Deze sensoren meten continu de temperatuur in de crypte, ter hoogte van de kroonlijst en de buitentemperatuur aan de Noord en Zuid zijde van het gebouw.



- 1 piëzometer  
Deze sensor meet continu de schommeling van het freatisch oppervlak in de ondergrond. Hiervoor diende een boring aangebracht te worden tot op een diepte van 15 m waarin de sensor aangebracht werd.



### 3.3. Enkele tussentijdse resultaten

Omwille van het feit dat de meetresultaten van ieder monitoringproject als confidencieel beschouwd worden, geven we hierbij enkel een interpretatie van de meetresultaten en niet de meetresultaten zelf.

Er dient hierbij opgemerkt te worden dat het hier gaat om de eerste waarnemingen sinds de start van het monitoringproject op 8 juli 2005. Per definitie is het dus voorbarig om op basis van een aantal maanden monitoring al tot sluitende conclusies te willen komen.

- o *De optische koorden*

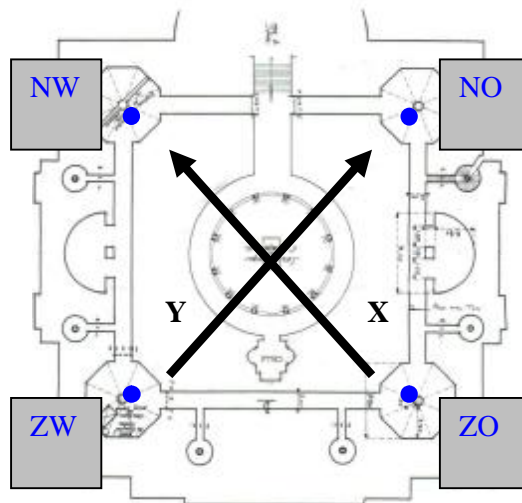
Van de vier optische koorden die verticaal geïnstalleerd zijn in de crypte onder de graftombe en die samen de globale tiltmeter vormen, zijn er drie die een gelijkaardig vervormingspatroon volgen. De optische koord aan de Noordwest zijde vertoont echter een ander vervormingspatroon.

è Dit wijst op een differentiële zetting van de pijlers aan de Noordwest zijde

Dit wordt bevestigd wanneer we een polair diagram opstellen met volgende assen:

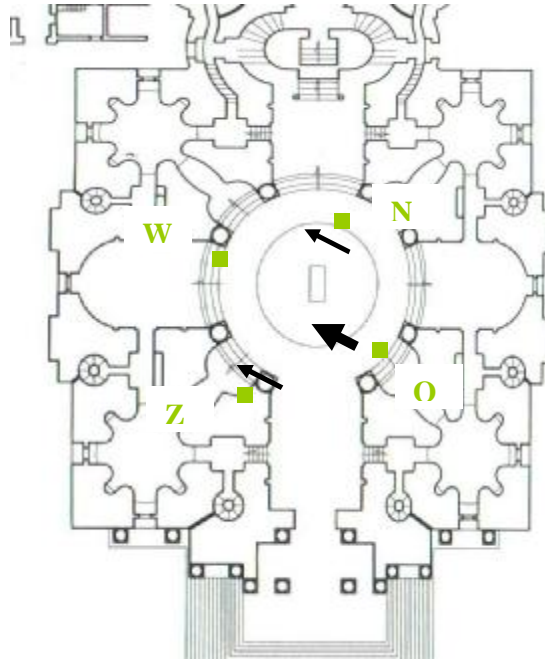
X-as = vervorming van optische koord Zuidoost – vervorming optische koord Noordwest

y-as = vervorming van optische koord Noordoost – vervorming optische koord Zuidwest



Hierbij zien we een duidelijke differentiële verplaatsing in de X-richting, opgemeten via het afwijkend vervormingsgedrag van de optische koord Noordwest.

- *De optische extensometers als scheursensoren*  
 De drie extensometers vertonen in de eerste drie maanden na de start van het monitoringproject een gelijkmatig vervormingsverloop. De drie scheuren vergroten gelijkmatig en zijn in deze drie maanden met ongeveer  $100\mu$  toegenomen. De optische extensometer Noord vertoont een aantal dynamische registraties (= plotse, snelle evoluties in de meetwaarden). We spreken over dynamische schokken die in dit geval niet echt alarmerend zijn daar na het beëindigen van het dynamisch effect de meetwaarde terugvalt tot op het zelfde niveau als voor het dynamisch effect. Het is echter wel raadzaam dit verder op te volgen en te proberen achterhalen wat de oorzaak is van deze 'schokken'.
  - *De inclinometers*  
 Rekening houdend met de specifieke plaatsing van de inclinometers kunnen we de veranderingen van helling van de kroonlijsten boven de kolommen waar ze geïnstalleerd zijn interpreteren als volgt:
    - de inclinometers Noord en Zuid vertonen evolueerden tot een hoekverdraaiing van  $0,1^\circ$  richting West
    - de inclinometer Oost evolueert tot een hoekverdraaiing van  $0,2^\circ$  richting West
    - de inclinometer West blijft stationair
- è Deze bevindingen bevestigen nogmaals de hypothese van een differentiële zetting aan de Noordwest zijde.



- *De piëzometer*  
Daar deze evoluties traag zijn, is het hier nog te vroeg om een interpretatie van de resultaten te doen.

#### 4. Besluit

Met de huidige technologie is het mogelijk om een constructie vol continu te gaan monitoren met nauwkeurigheden die tot voor een 15 tal jaar enkel haalbaar waren in een labo omgeving. Bovendien kunnen we deze monitoringprojecten laten doorlopen over een zeer lange periode met dezelfde apparatuur en is het ook mogelijk om kleinere, minder belangrijke projecten gedurende een al of niet beperkte periode te gaan monitoren.

Door deze wezenlijke verbeteringen is het vandaag mogelijk om op een eenvoudige manier permanente stabiliteitsmonitoring te gaan inzetten als instrument dat bijdraagt tot de besluitvorming van architecten, ingenieurs en bouwheren. Beslissingen kunnen genomen worden op basis van juiste en objectieve waarnemingen. Bovendien kan aan de hand van permanente monitoring ook de daadwerkelijke uitvoering van deze beslissingen opgevolgd worden tijdens de restauratie. En kan het resultaat van de restauratie opgevolgd worden na het beëindigen van de werken.

Meten is weten!

#### 5. Referentie

<http://www.osmos-group.com/eng/index.jsp>

## ADRESSENLIJST SPREKERS

Prof.dr.ir. Dionys Van Gemert  
K.U.Leuven  
Departement Burgerlijke Bouwkunde  
Laboratorium Reyntjens  
Kasteelpark Arenberg 40  
B-3001 HEVERLEE  
T. + 32 (0)16 32 16 71  
F. +32 (0)16 32 19 76  
[Dionys.VanGemert@bwk.kuleuven.be](mailto:Dionys.VanGemert@bwk.kuleuven.be)

Prof.ir.Rob P.J. van Hees  
Delft University of Technologie  
Faculty of Architecture  
Building Conservation  
P.O.Box 5043  
NL-2600 GA DELFT  
T. +31 (0)15 27 84 153  
F. +31 (0)15 27 81 028  
[r.p.j.vanhees@bk.tudelft.nl](mailto:r.p.j.vanhees@bk.tudelft.nl)

Prof.dr.ir.-arch. Koenraad Van Balen  
K.U.Leuven  
Departement Burgerlijke Bouwkunde en  
R. Lemaire Internationaal Centrum voor Monumentenzorg  
Kasteelpark Arenberg 40  
B-3001 HEVERLEE  
T. +32 (0)16 32 11 72  
F. +32 (0)16 32 19 76  
[koenraad.vanbalen@bwk.kuleuven.be](mailto:koenraad.vanbalen@bwk.kuleuven.be)

Ir. Marc Stappers  
Rijksdienst voor de Monumentenzorg  
Broederplein 41  
NL-3703 CD ZEIST  
Postbus 1001  
NL-3700 BA ZEIST  
T. +31 (0)30 69 83 427  
[M.Stappers@Monumentenzorg.NL](mailto:M.Stappers@Monumentenzorg.NL)

Ir. Marco H.J. Martens  
Technische Universiteit Eindhoven  
Faculteit Bouwkunde  
Unit Building Physics and Systems  
Vertigo 6.36  
Postbus 513  
NL-5600 MB EINDHOVEN  
T. +31 (0)40 24 72 957  
[m.h.j.martens@bwk.tue.nl](mailto:m.h.j.martens@bwk.tue.nl)

Ing. C.A.M. Snepvangers  
Injection Nederland  
Postbus 230  
NL-4130 EE VIANEN  
T. +31 (0)347 37 55 74  
F. +31 (0)347 37 76 92  
[ks@injection.nl](mailto:ks@injection.nl)

Silvia Naldini Advice  
Berlageplan 22  
NL-2728 EG ZOETERMEERT  
T. +31 (0)79 33 11 066  
F. +31 (0)79 33 11 846  
[s.naldini@planet.nl](mailto:s.naldini@planet.nl)

Ir. Sven Ignoul  
Triconsult N.V.  
Industriepark 1241/B4  
B-3545 HALEN  
T. +32 (0)13 52 36 61  
F. +32 (0)13 52 36 64  
[sven.ignoul@triconsult.be](mailto:sven.ignoul@triconsult.be)

Ing. Jo Blomme  
STAMOTEC bvba  
Knokkestraat 15  
B-8552 ZWEVEGEM  
T. +32 (0) 56 45 78 86  
F. +32 (0) 56 45 75 61  
[info@stamotec.be](mailto:info@stamotec.be)

## BESTUURSLEDEN

Voorzitter Prof.dr.ir. Dionys Van Gemert  
Dept. Burgerlijke Bouwkunde  
Laboratorium Reyntjens  
Kasteelpark Arenberg 40  
B - 3001 HEVERLEE  
Tel.: + 32 16 32 16 71  
Fax: + 32 16 32 19 76  
[Dionys.vangemert@bwk.kuleuven.be](mailto:Dionys.vangemert@bwk.kuleuven.be)



Secretariaat A.C.P. Tellings  
Prins Bernhardlaan 26  
NL - 5684 CE BEST  
Tel.: + 31 499 37 52 89 /396062  
Fax: + 31 499 37 50 06  
GSM: + 31 6 112 888 77  
[Info@wta-nl-vl.org](mailto:Info@wta-nl-vl.org)  
[www.wta-nl-vl.org](http://www.wta-nl-vl.org)



Penningmeester T.G. van de Weert  
Spechtlaan 13  
NL - 3925 TD SCHERPENZEEL  
Tel.: + 31 33 277 88 01  
Fax: + 31 33 277 88 02  
GSM: + 31 6 224 513 78  
[tgvandeweert@planet.nl](mailto:tgvandeweert@planet.nl)

Leden Prof.ir. R. van Hees p/a TNO - Bouw  
Van Mourik Broekmanweg 6  
Postbus 49  
NL - 2600 AA DELFT  
Tel.: + 31 15 276 31 64  
Fax: + 31 15 276 30 17  
GSM: + 31 6 518 333 73  
[R.VanHees@bouw.tno.nl](mailto:R.VanHees@bouw.tno.nl)



Dr.ir. W. Freling  
Zandberglaan 31 a  
NL - 4818 GH BREDA  
Tel.: + 31 76 521 16 83  
Fax: + 31 76 521 21 37  
GSM: + 31 6 203 610 41  
[wj.freling@inter.nl.net](mailto:wj.freling@inter.nl.net)

Dirk Vangheluwe  
Krombeeksestraat 32  
B - 8970 POPERINGE  
Tel.: + 32 57 33 21 91  
Fax: + 32 57 33 31 70  
GSM: + 32 475 41 44 11  
[atelier.arthur@skynet.be](mailto:atelier.arthur@skynet.be)

Ing. Jo Blommme  
STAMOTEC bvba  
Knokkestraat 15  
B – 8552 MOEN  
Tel.: + 32 56 45 78 86  
Fax: + 32 56 45 75 61  
GSM: + 32 473 68 30 68  
[info@stamotec.be](mailto:info@stamotec.be)

Ir. Yves Vanhellemont  
WTCB- CSTC  
Avenue Pierre Holoffe 21  
B - 1342 LIMETTE  
Tel.: + 32 2 655 77 11  
Fax: + 32 2 653 07 29  
GSM: + 32 475 85 05 38  
[Yves.vanhellemont@bbri.be](mailto:Yves.vanhellemont@bbri.be)

Dr.ir. Henk L. Schellen  
T.U.Eindhoven  
Faculteit Bouwkunde  
Vertigo 06H17  
NL – 5600 EINDHOVEN  
Tel.: + 31 40 247 2651  
Fax: + 31 40 243 8595  
GSM: + 31 6 517 630 01  
[h.l.schellen@bwk.tue.nl](mailto:h.l.schellen@bwk.tue.nl)





## **De WTA stelt zich voor**

### **Wetenschappelijk – Technische Groep voor Aanbevelingen inzake Bouwrenovatie en Monumentenzorg.**

Er bestaat in binnen - en buitenland, versnipperd over vele bedrijven en instellingen, researchafdelingen en adviesorganen, een uitgebreid aanbod van kennis op het gebied van bouwrenovatie en – instandhouding. Van die kennis zou de bouwrenovatie markt en daarmee ook de zorg voor de monumenten meer kunnen profiteren dan nu het geval is, en dat eens te meer daar het zwaartepunt van die zorg geleidelijk verschuift van de traditionele restauratie naar renovatie en onderhoud en bovendien de “jonge” monumenten met een geheel eigen conserveringsproblematiek, in de zorg worden betrokken.

Probleem is echter, dat dit grote kennisaanbod niet zo gemakkelijk is te overzien en zich bovendien steeds aanpast. Het adagium “ bouwen is traditie “ gaat steeds minder vaak op, en dat geldt evenzeer voor renovatie - en onderhoudstechnieken.

Kwaliteit, bruikbaarheid en actualiteit van kennis staan daarbij voorop. De Nederlands -Vlaamse afdeling van de WTA kan daarbij een belangrijke rol spelen. De WTA beijvert zich voor onderzoek en de praktische toepassing daarvan op het gebied van onderhoud aan gebouwen en monumentenzorg.

Daartoe worden bijeenkomsten van wetenschapsmensen en praktijkdeskundigen georganiseerd, waar een specifiek probleem inzake onderhoud van gebouwen en duurzaamheid van gebruikte bouwmaterialen en methoden zeer intensief wordt onderzocht en aan de bestaande ervaring met studiewerkgroepen op onder meer het terrein van

HOUTBESCHERMING, OPPERVLAKTETECHNOLOGIE, METSELWERK, NATUURSTEEN en STATISCHE /DYNAMISCHE BELASTINGEN VAN CONSTRUCTIES. Deze werkgroepen hebben tot doel kennis en ervaringen uit te wisselen.

Resultaten worden vertaald in een richtlijn voor werkwijzen en behandelingsmethoden.

Gezien de kwaliteit en de heterogene samenstelling van de werkgroepen, kunnen die richtlijnen, zogenaamde Merkblätter, beschouwd worden als objectief en normstellend

Advisering inzake restauratie en onderhoud. Zij worden in brede kring verspreid door middel van publicaties in de vakpers en in het WTA-tijdschrift “Restoration of buildings and monuments” gepubliceerd dat aan alle leden 6x per jaar wordt toegestuurd.

Leden van de WTA kunnen aldus, door een actieve vertegenwoordiging in werkgroepen bijdragen aan de totstandkoming van dergelijke normstellende advisering.



In beginsel staat het lidmaatschap open voor allen die vanuit hun functie of belangstelling bij de bouw, restauratie en het onderhoud van gebouwen betrokken zijn. Werkgroepen worden samengesteld op basis van deskundigheid en ervaring van de participanten. Deelname is altijd vakinhoudelijk. Leden hebben het recht voorstellen te doen voor de op- en inrichting van nieuwe werkgroepen en gebruik te maken van door de WTA geleverde faciliteiten zoals een vakbibliotheek en enig administratieve ondersteuning.

Het betreft daarbij niet alleen advisering, maar ook het harmoniseren van de verschillende internationale technische regelgevingen. Voor een goed functioneren van zowel de opbouw uitmaken. Hiertoe biedt de Nederlandse tak van de WTA een uitstekende mogelijkheid.

Wanneer u belangstelling heeft voor de WTA of één van de hiervoor genoemde vakgebieden of werkgroepen kunt u met de WTA Nederland -Vlaanderen in contact treden.

Kosten van het lidmaatschap bedragen: € 170,--  
per jaar per persoon,  
Eenmalig inschrijfgeld van: € 25,--  
Een ondersteunend lidmaatschap voor bedrijven en instellingen kost minimaal  
€ 170,-- tot € 610,-- per jaar, al naargelang het aantal werknemers.  
Eenmalig inschrijfgeld vanaf: € 25,-- tot € 150,--

### **WTA Nederland - Vlaanderen**

#### **Correspondentieadres Nederland**

Secretariaat WTA  
P/a Prins Bernhardlaan 26  
5684 CE Best  
Tel. : 0499 – 375289 / 396062  
Fax : 0499 – 375006  
e-mail : [info@wta-nl-vl.org](mailto:info@wta-nl-vl.org)  
Internet : [www.wta-nl-vl.org](http://www.wta-nl-vl.org)

#### **Correspondentieadres België**

Mevr. Kristine Loonbeek  
P/a Katholieke Universiteit Leuven  
Departement Burgerlijke Bouwkunde  
Laboratorium REYNTJENS  
Kasteelpark Arenberg 40  
3001 Heverlee  
Tel. : 016 32 16 54  
Fax : 016 32 19 76  
e-mail : [Kristine.Loonbeek@bwk.kuleuven.be](mailto:Kristine.Loonbeek@bwk.kuleuven.be)

## **COLOFON**

Concept en eindredactie  
WTA Nederland - Vlaanderen

© WTA en Auteurs 2005

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Kaft:

O.L.V. Basiliek te Tongeren (B), foto Triconsult N.V. & K.U.Leuven, Laboratorium Reyntjens

Voorblad:

Dôme des Invalides te Parijs (F), foto Stamotec

Uitgever

**WTA NEDERLAND - VLAANDEREN**

© 2005 ISBN 90-76132-19-4



Nummer	Lijst verschenen syllabi	Jaar	ISBN nummer
1	Stad beeld	1992	
2	Nieuwe ontwikkelingen	1993	
3	Restaureren & Conserveren	1994	
4	Kleur bekennen	1994	
5	Hout	1996	
6	Gevelreinigen	1996	
7	Kalk	1997	90-76132-01-1
8	Metaal	1997	90-76132-02-1
9	Kwaliteit in de restauratie	1998	90-76132-03-8
10	Natuursteen deel 1	1998	90-76132-04-6
11	Natuursteen deel 2	1999	90 76132-05-4
12	Mortels in de restauratie	1999	90-76132-06-2
13	Pleisters voor restauratie en renovatie	2000	90 76132-07-0
14	Bereikbaarheid van monumenten	2000	90-76132-08-9
15	Schoon van binnen	2001	90-76132-09-7
16	Glas in lood	2001	90-76132-10-0
17	Scheuren in metselwerk en pleisters	2002	90-76132-11-9
18	Biodegradatie	2002	90-76132-12-7
19a	Zouten in natuursteen- en baksteenmetselwerk	2003	90-76132-14-3
19b	Surface and structural consolidation of masonry		
20	Authenticity in the restoration of monuments	2003	90-76132-13-5
21	Kleur, Pigment en Verf in Restauratie	2003	90-76132-15-1
22	Graffiti op monumenten: een last of een lust	2004	90-76132-16-x
23	Isolatie en klimaatbeheersing van monumenten (Hoe) is het mogelijk?	2004	90-76132-17-8
24	Monumenten en water	2005	90-76132-18-6
25	Monitoring en Diagnose	2005	90-76132-19-4

**Kosten per uitgave : € 25,--  
exclusief verzendkosten.**

Best, november 2005