Concept 16-2-2011
Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Bart Ankersmit

Het binnenklimaat in het Programma van Eisen

Bart Ankersmit

Het binnenklimaat
in
het Programma van Eisen

Concept februari 2011

Vrijgegeven op de themadag "Naar de Knoppen", 17 feb 2011

Bart Ankersmit

Senior Onderzoeker | Kennis
Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Smallepad 5 | 3811 MG Amersfoort
Postbus 1600 | 3800 BP Amersfoort
T 033 – 421 7421 | F 033 – 421 7799

Bezoekadres
Hobbemastraat 22 | 1070 CZ | Amsterdam
Postbus 76709 | 1070 KA | Amsterdam
T 020 3054 737
F 020 3054 600
b.ankersmit@cultureelerfgoed.nl
www.icn.nl & www.cultureelerfgoed.nl

Inleiding

Bij het opstellen van een Programma van Eisen (P.v.E.) voor verbouw of nieuwbouw van gebouwen met een museale functie, rijst altijd de vraag 'welke specificaties moeten worden aangehouden voor het binnenklimaat?'. Deze publicatie is geschreven om betrokkenen te helpen bij het vertalen van de richtlijnen gepubliceerd in 'Klimaatwerk' naar specificaties in het P.v.E.

In het verleden leek de besluitvorming over de kwaliteit van het binnenklimaat redelijk eenvoudig; voor het Nederlandse veld was een tabel beschikbaar met daarin de getallen voor een acceptabele temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en de daarop voorkomende acceptabele fluctuaties.[1] Met behulp van deze getallen, die nagenoeg voor alle soorten objecten het zelfde waren, konden de eisen worden geformuleerd en de installatie ontworpen en worden getoetst. Ook kon het gebouw worden aangepast aan de klimaatspecificaties voor de daarin aanwezige collectie.

Echter: na uitgebreid onderzoek bleken niet alle materialen in dezelfde mate gevoelig voor het binnenklimaat en was de oude tabel aan hervorming toe.[2] Ook bleek in sommige projecten de bouwfysische aanpassingen onvoldoende en werd schade an het gebouw toegebracht. Een eerste aanzet voor een nieuwe besluitvorming over het museale binnenklimaat is gegeven met de publicatie van '*Klimaatwerk, richtlijnen voor het museale binnenklimaat'.*[3] In deze publicatie wordt een besluitvormingsprocedure voorgesteld die uit vier stappen bestaat:

1 waardering van gebouw en collectie
2 kennis over de mogelijkheden van het gebouw
3 de collectienoden
4 klimaatbeheersing

De voorgestelde procedure is nieuw en daarom is met het boek geprobeerd een stevige theoretische onderbouwing te geven voor de besluitvorming. Hiermee wordt veel van de lezer gevraagd als het gaat om de identificatie van de gewenste klimaatcondities. Het is tijdrovend de vier voorgestelde stappen te doorlopen en informatie te krijgen die recht doet aan de complexiteit en kosten van de te nemen maatregelen. Daar komt bij dat het klimaat over het algemeen slechts een zeer klein deel is van het totale programma van

[1] Jütte, B.A.H.G., *Passieve conservering; klimaat en licht*, Amsterdam: Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap (1994).
[2] ASHRAE, 'Museums, libraries and archives (Chapter 21)', in: *2007 ASHRAE handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning applications, SI edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, (2007) p.p. 21.1-21.23.
[3] Ankersmit, B., *Klimaatwerk, Richtlijnen voor het museale binnenklimaat,* Amsterdam University Press (2009)

eisen en de betrokkenen vaak maar eenmaal in hun carrière een dergelijk besluitvormingsproces doorlopen. Er is dus weinig animo om veel tijd en daarmee geld te investeren om slechts zes getallen op papier te krijgen die van belang zijn (zie hieronder). Deze publicatie is dan ook bedoeld om allen die betrokken zijn bij het vaststellen van de gewenste klimatologische condities voor optimaal behoud van museale collecties, zoals collectiebeheerders, installatieontwerpers, klimaatadviseurs en architecten, over de belangrijkste aspecten van de binnenklimaateisen in te lichten. Met deze aanvullende brochure is geprobeerd om naast de theorie enkele praktische handvatten te bieden om zo sneller te komen tot identificatie van de gewenste klimaatcondities.
Er wordt eerst ingegaan op de vraag waarom getallen belangrijk zijn en daarna worden twee beslissingsmodellen gepresenteerd.

Zes getallen

Het binnenklimaat wordt traditioneel gekarakteriseerd met zes getallen: de streefwaarde voor de relatieve luchtvochtigheid en temperatuur (eventueel met seizoensaanpassing), de grootte van de daarop voorkomende acceptabele fluctuaties en de snelheid waarmee een verandering hierin mag optreden over een bepaalde tijdsperiode. In een programma van eisen (P.v.E.) kan dat worden weergegeven als (de getallen zijn fictief):

Temperatuur	21ºC ± 2ºC	1ºC/uur
Relatieve luchtvochtigheid	49% ± 6%	3%/uur

De architect en adviseurs vragen om deze getallen om te gebruiken in hun berekeningen voor het ontwerp van een klimaatinstallatie en de bouwfysische aanpassingen. Er moet worden bepaald hoeveel lucht met welke snelheid een ruimte ingebracht moet worden zodat de warmtelast en mogelijke infiltratie van buitenlucht effectief wordt gecompenseerd en de vochthuishouding op peil blijft. Omdat in een museale context, in tegenstelling tot bijna alle andere omgevingen, juist de relatieve luchtvochtigheid het belangrijkste is, zijn de werkelijk na te streven waarden essentieel om be- en ontvochtigingscapaciteiten te bepalen. Ook zullen er grenswaarden moeten worden vastgelegd zodat de installatie weet wanneer bij te sturen en te verwarmen, te koelen en/of te be- of ontvochtigen. Met de gegevens kan ook een schatting gemaakt worden van het verwachte energiegebruik. De getallen die het binnenklimaat beschrijven maken het eindresultaat toetsbaar, zodat na oplevering kan worden bezien of de installatie de

prestatie-eis haalt. Ook worden deze waarden geformuleerd als het gaat om het in huis halen van bruiklenen waar de uitlener specifieke klimaateisen aan stelt.
Maar hoe kunnen deze getallen worden vastgesteld en zijn ze allemaal even belangrijk voor het collectiebehoud?

Twee besluitvormingsmodellen voor optimaal collectiebehoud

Het definiëren van het gewenste klimaat kan op twee wijzen plaatsvinden. Er kan worden uitgegaan van de huidige situatie met kennis over de risico's uit het verleden, of er kan worden nagedacht over de te verwachten risico's op basis van de materiële eigenschappen van objecten.
Van de risico's uit het (recente) verleden kan men een beeld krijgen door te kijken naar de huidige staat van de collectie en de mate waarin deze veranderd is over een bepaalde tijd. De tweede methode vereist kennis over de werkelijke veranderingen die materialen en constructies ondergaan als gevolg van een verkeerd (binnen)klimaat. Deze informatie is onder andere ontsloten door conserveringsonderzoek, zie voor referenties '*Klimaatwerk'*. Beide wijzen van besluitvorming zullen verder worden toegelicht.

Collectie

De collectie heeft in het verleden continu blootgesteld gestaan aan een bepaald (binnen)klimaat. De vraag is of dit klimaat de fysieke staat van de collectie heeft veranderd. Om daar achter te komen moet men in plaats van alleen naar de klimaatgegevens over een bepaalde periode te kijken, ook naar de staat van de collectie worden gekeken. In praktijk blijkt dit laatste vaak lastiger dan gedacht, omdat niet alleen kennis over de huidige staat maar ook over die in het (recente) verleden moet worden verkregen. En het blijkt nog niet eenvoudig om van specifieke objecten documentatie te vinden waaruit de fysieke toestand van enkele jaren geleden kan worden herleid.

Figuur 1: detail van een kastdeur uit 17de eeuw met fineer, gefotografeerd in 1977 (links) en in 2010 (rechts)

Zoals is te zien in figuur 1 is de toestand waarin het oppervlak van de 17de-eeuwse kastdeur zich nu bevindt sinds 1977 niet is veranderd. De huidige schade dateert dus al van voor die tijd. Klimaatmetingen tonen echter een zeer wisselend binnenklimaat dat in de winter een temperatuur heeft van 5-10°C en in de zomer 22-24°C, met een jaargemiddelde relatieve luchtvochtigheid (RV) van 60% en korte fluctuaties rond de 20% en lange fluctuaties van zo'n 30% is de conditie van het oppervlak in de afgelopen 30 jaar niet wezenlijk veranderd.

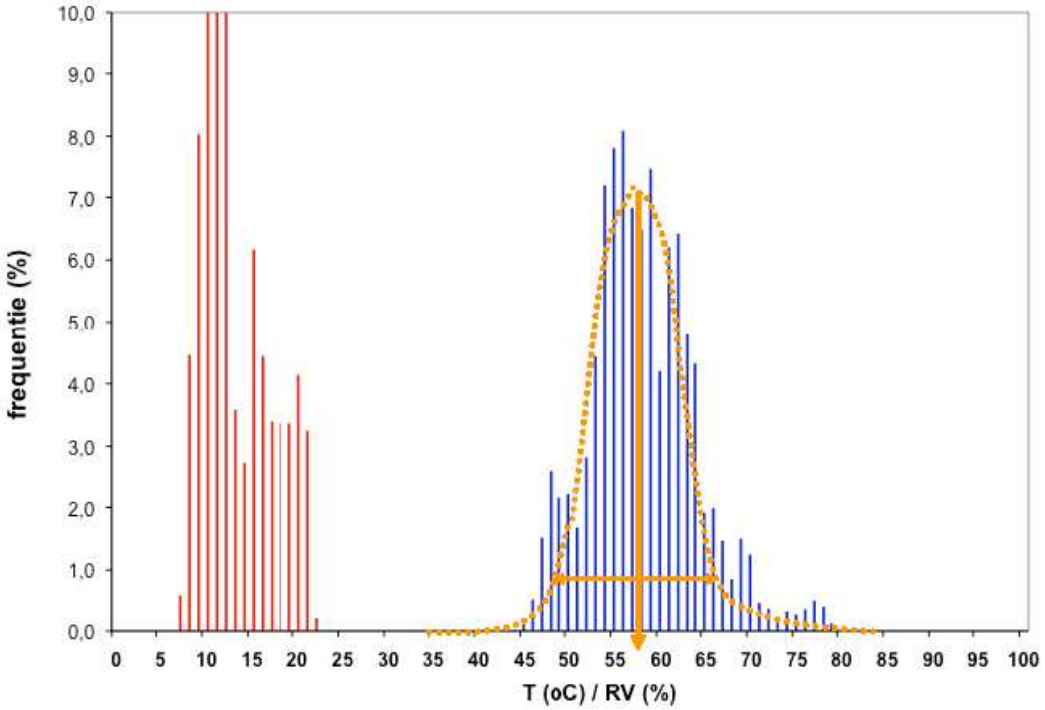
Het wordt een stuk lastiger, zo niet onmogelijk als het gaat om het in kaart brengen van chemische veroudering, die langzaam maar gestaag voortschrijdt. De verzwakking, het bros worden en de vergeling die daar een gevolg van is, zijn namelijk moeilijk te meten en zullen in het verleden nooit gemeten zijn. Hiervoor kan dan alleen heel grof geëxtrapoleerd worden: uitgaande van de datum waarop het object gemaakt is of tot stand is gekomen en de huidige toestand kan als het ware de toekomst voorspeld worden door over een vergelijkbare tijdspanne de huidige verandering te verdubbelen. Waarbij opgemerkt dat autokatalytische processen versnellen in de tijd, dan wordt de verwachte levensduur steeds korter.
De chemische veroudering van materialen wordt besproken op pagina 77 van de publicatie *Klimaatwerk*. Omdat de veroudering van krantenpapier relatief snel gaat en kranten goed gedateerd kunnen worden, zijn kranten als casus uitgewerkt op pagina 79. Als de collectie

voor een belangrijk deel bestaat uit chemisch instabiele materialen (zie tabel 2 op pagina 37) wordt het belangrijker om veroudering te reduceren door de temperatuur te verlagen.

Vaak kan met een vergelijking van de huidige toestand van een object met de fysieke staat in het verleden vooral iets gezegd worden over het risico op mechanische breuk door een fluctuerende relatieve luchtvochtigheid. Bij het vergelijken van oude met nieuwe foto's moet men zich goed bewust zijn van de zogenaamde 'bewezen fluctuatie'. Deze zegt dat het risico op mechanische schade als gevolg van een RV-fluctuatie in de toekomst zeer klein is als de toekomstige RV-fluctuaties niet groter zijn dan die waaraan het object of de collectie in het verleden al blootgesteld heeft gestaan. Dus, wanneer het toekomstige binnenklimaat gelijk is aan of beter is dan het historische binnenklimaat is de kans op mechanische schade verwaarloosbaar klein. Hierdoor betekent een kleine verbetering van het toekomstige binnenklimaat al een enorme afname van het risico op mechanische schade geeft.[4] Voor een goede analyse van het toekomstig risico op mechanische breuk is kennis over dat historische binnenklimaat essentieel.
Voor het klimatiseren van historische huizen, die daarvoor geen enkele klimaatcontrole kenden, is het goed te weten wat de typische seizoensschommelingen waren en er voor kiezen om de fluctuaties slechts iets kleiner te kiezen dan die in praktijk voorkwamen, zie figuur 2. Een voor de handliggende maat voor de acceptabele fluctuatie is de standaarddeviatie[5].
In figuur 2 is voor de RV distributie met een oranje lijn aangegeven wat dat betekent. Het klimaat waaraan de kast in figuur 1 de afgelopen jaren is blootgesteld, kent een RV-distributie tussen de 45% en 80%, met een top rond de 55-60%. Als de distributie als een klokcurve wordt gezien, kan een standaarddeviatie van zo'n 8% worden vastgesteld rond de 50ste percentiel, hier 57%. Er van uitgaande dat in elke situatie er uitzonderingen zijn en er zich bij tijd en wijle grote fluctuaties zullen voordoen (er wordt sowieso in ieder ontwerp uitgegaan van 8% over- of onderschrijding van de specificaties) zou een mogelijke eis voor het klimaat waarin de kast staat 57%±9% kunnen zijn. Vrij vertaald wordt dat dan 55%±10%.

[4] Waarbij opgemerkt moet worden dat restauraties de bewezen fluctuatie te niet doen omdat er als het ware een nieuw object gemaakt wordt met een hele nieuwe gevoeligheid voor RV fluctuaties.
[5] Bratasz, L., Camufo, D., R., Kozlowski, *Target microclimate for perseveration derived from past indoor conditions, Museum Microclimates, Contributions to the conference in Copenhagen* (2007) pp. 49-54.

Figuur 2: temperatuur- (rood) en RV-distributies (blauw) van een niet-beheerst binnenklimaat in een historisch huis uitgezet tegen de frequentie waarin een bepaalde waarde in het jaar voorkomt. De groene pijl geeft de standaarddeviatie van de RV-distributie weer.



Voor de temperatuur zou een vergelijkbare analyse gemaakt kunnen worden. In dit geval echter is sprake van twee maxima; een lage temperatuur in de winter (ongeveer 12°C) en een hoge in de zomer (ongeveer 19°C), waardoor er eigenlijk sprake is van twee afzonderlijke standaarddeviaties.

Binnen de grenzen aangegeven met de standaarddeviatie zou een klimaat heersen waarbij nieuwe mechanische schade niet verwacht wordt. Breuk door vermoeiing[6] kan echter op de zeer lange termijn (vele decennia / enkele eeuwen) wel voorkomen. Wil je een verbetering aanbrengen, of een gerestaureerde of nieuwe collectie in de ruimte plaatsen, dan zul je toch eerst moeten nagaan wat de noden zijn op basis van de specifieke materiaaleigenschappen.

[6] Vermoeiing is een fenomeen waarbij een materiaal bezwijkt (breekt) onder een zeer lang aangehouden wisselende belasting. Door de wisselende belasting kan er breuk optreden zelfs als de spanningen overal (ver) onder de maximale vloei- of breukspanning blijven.

Theorie

Ieder object heeft door de materiële eigenschappen, de constructie, de afwerking en de wijze van tentoonstellen of bewaren een specifieke interactie met het binnenklimaat. daarom is er binnen een groep van vergelijkbare voorwerpen, zoals meubels, nog een grote verscheidenheid aan gevoeligheid en daarmee aan risico op schade bij blootstelling aan het zelfde klimaat (zie Tabel 3 op pagina 52 in Klimaatwerk). Feitelijk zou dus voor ieder object afzonderlijk de gewenste omgevingscondities moeten worde geformuleerd. Maar dat is in praktijk onhaalbaar. Er wordt geadviseerd om binnen collecties te kijken naar de meest:

- waardevolle objecten, want die verliezen potentieel de meeste waarde bij een materiële verandering
- gevoelige voorwerpen, want die zullen het snelst veranderen

Voor de overige objecten kan dan het risico op schade worden geaccepteerd omdat deze slechts een klein waardeverlies tot gevolg heeft. Want of de verandering was minimaal (object was minder gevoelig) of de materiële verandering vinden we niet zo heel erg (minder waardevol object).

STREEFWAARDEN

Streefwaarde voor de temperatuur

Er zijn twee redenen om tot een specifieke streefwaarde te komen. Ten eerste kan voor collectiebehoud in het algemeen gesteld worden dat een lage temperatuur beter is dan een hoge. Oftewel: houd de temperatuur zo laag mogelijk.[7] Dit moet natuurlijk afgewogen worden tegen de daaraan gekoppelde kosten en het gebruik van de collectie. Het kunstmatig laag houden van de temperatuur in grote volumes tijdens de zomer geeft immers een hoog energieverbruik. Er kan worden overwogen specifieke gevoelige en waardevolle collectieonderdelen in vriezers of koelkasten op te slaan. Het moge duidelijk zijn dat koude voorwerpen niet zo maar in een geconditioneerde warme ruimte gebracht kunnen worden. Er zullen procedures moeten worden opgesteld voor het gebruik van koude objecten zodat het risico op condensatie zo klein mogelijk is.

[7] Zie het uitgewerkte voorbeeld op p. 79 in *Klimaatwerk*.

De tweede reden is menselijk comfort. Omdat mensen zeer gevoelig zijn voor de luchttemperatuur, luchtsnelheid en oppervlaktetemperaturen van wanden en plafond moeten deze beheerst worden.[8] In ruimten waar collectie samengebracht wordt met mensen zal menselijk comfort dan ook vaak de bepalende factor blijken.[9]

Streefwaarde voor de relatieve luchtvochtigheid

Veel museale voorwerpen zijn, in tegenstelling tot mensen, gevoelig voor vocht. Het evenwichtvochtgehalte van hygroscopische materialen wordt bepaald door de relatieve vochtigheid in de lucht.[10] Als deze zeer laag is (RV≤35%), kunnen materialen uitdrogen en daardoor bros worden en in sommige gevallen vervormen. Bij zeer hoge relatieve luchtvochtigheden (boven de 65%) neemt het risico op schimmel enorm toe. Het ligt dus voor de hand om de jaar- of seizoensgemiddelde streefwaarde te kiezen tussen de 35% en 65% relatieve luchtvochtigheid. Er zijn uitzonderingen, zoals (archeologische) metaalcollecties die zeer gevoelig zijn voor corrosie, deze zouden droger opgeslagen kunnen worden dan 35%.[11] Het devies voor chemisch instabiele collecties is: hoe droger hoe beter.

Een ander aspect is het jaargemiddelde van het binnenklimaat in Nederland in een niet-geklimatiseerde, maar wel verwarmde, binnenruimte; deze bedraagt zo'n 50%.[12] Daarbij komt ook nog dat het risico op mechanische schade van een bepaalde fluctuatie kleiner is als deze rond de 50% optreedt dan als deze rond de 65% of 35% plaatsvindt.[13]

Samenvattend kan dus voor de streefwaarden worden gesteld dat, voor de maximale waarden voor de lucht temperatuur geldt dat ruwweg een bovengrens van 25°C worden gehanteerd; warm voor mens en collectie. Als het gaat om collectiebehoud dan wordt de algemene minimale waarde voor de temperatuurstreefwaarde zo'n 13°C; goed voor de collectie maar koud voor de mens.[14]

Voor de streefwaarde van de ruimtelijke RV ligt het voor de hand om rond de 50% te zitten, met de aantekening dat er veel objecten zijn waarvoor een lagere of hogere waarde beter zou zijn voor het behoud.

---

[8] ASHRAE, Thermal Comfort (Chapter 9) in: *2007 ASHRAE handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning applications,* SI edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., (2009) p.p. 9.1-9.30.
[9] Zie *Klimaatwerk, p.* 84.
[10] Dit in tegenstelling tot wat sommige mensen denken, namelijk dat de absolute luchtvochtigheid van de lucht bepaalt hoeveel vocht er in een hygroscopisch materiaal aanwezig is.
[11] Zie *Klimaatwerk*, p.p 40-44.
[12] Zie de laatste alinea op p. 13 en afbeelding 2 op p. 14 van *Klimaatwerk*.
[13] Zie de laatste alinea op p. 13 van *Klimaatwerk*.
[14] Zie *Klimaatwerk*, pp. 80-83.

Tevens lijkt het verstandig om de streefwaarden enigszins te laten variëren met de seizoenen: iets kouder en droger in de winter en iets warmer en vochtiger in de zomer.

FLUCTUATIES

Het vaststellen van een acceptabele fluctuatie van RV en van T vraagt om kennis over het gedrag van materialen en objecten bij wisselende klimaatcondities. Het vastleggen van de fluctuaties die mogen voorkomen op de streefwaarden is dan ook het meest complex en vraagt de meeste aandacht. Maar omdat de kosten van de maatregelen primair afhangen van de hoogte van de geaccepteerde fluctuatie loont het een goede analyse te maken. Het reduceren van de klimatologische inwerking van de buitenlucht op het binnenklimaat vraagt om ingrijpende bouwfysische ingrepen: er moet veel lucht ingebracht worden om in de gehele ruimte dezelfde condities te genereren. Hierbij kan worden opgemerkt dat een fluctuerende temperatuur een veel lager risico voor de collectie vormt dan een fluctuerende relatieve luchtvochtigheid.

De te accepteren RV-fluctuatie is sterk afhankelijk van de gekozen RV-streefwaarde. Indien de streefwaarde dicht bij een onder- of bovengrens wordt gekozen van het opgegeven bereik is er minder ruimte voor fluctuatie dan wanneer die midden in het bereik ligt.

Omdat schade aan objecten door RV-fluctuaties een gevolg is van spanningen die ontstaan na opname of afgifte van vocht is de tijd die benodigd is voor vochttransport binnen een object een belangrijke en beïnvloedbare parameter. In tabel 6, pagina 73 van *Klimaatwerk* wordt de responstijd van enkele objecten in de vrije ruimte gegeven. Gebruik van dozen, zakken, containers, microklimaatdozen, kasten, laden, omslagen en insteekvellen veranderen de snelheid van vochttransport en daarmee de responstijd van het totale systeem (object + verpakking). Effectieve vochtbarrières, zoals dozen van polypropyleen of metaal, glas in een houten frame, polyethyleenzakken, maar ook kartonnen dozen kunnen de responstijd van het systeem enorm verlengen. Op deze wijze kunnen zelfs seizoensschommelingen volledig worden gedempt. Het effect van een langere responstijd wordt geïllustreerd in figuur 26 op pagina 75 van *Klimaatwerk*; het risico op mechanische breuk neemt enorm af, zelfs als de ruimtelijke fluctuaties groot zijn. Kortom: bij gebruik van vocht(bufferende) barrières zullen de eisen voor de toegestane ruimtelijke fluctuatie veel ruimer kunnen worden. De aanwezigheid van oppervlakte-afwerkingen zoals een lak-, verf- of waslaag heeft een vergelijkbaar effect op het vochttransport. Objecten met een goede lak of was zullen er veel langer over doen om in

evenwicht te komen met een nieuwe RV dan objecten zonder afwerklaag, waardoor hun risico op mechanische breuk veel kleiner is. Oftewel, ook de toestand van het object, wel of niet een stabiele afwerklaag, bepaalt het risico op mechanische schade.
Voor iedere zone kan vervolgens de gewenste condities worden geformuleerd waarin de voor de duur van de RV-fluctuatie de kortste responstijd van de kwetsbare collectie in die ruimte moet worden genomen.

De temperatuurfluctuatie

De thermische uitzettingscoëfficiënt van materialen is zo klein dat de mogelijke spanning die ontstaat bij het ongelijkwaardig uitzetten of krimpen bij verandering van de temperatuur te klein is om een risico te vormen voor museale collecties. Oftewel: het specificeren van een maximale acceptabele temperatuurfluctuatie voor collectiebehoud is niet noodzakelijk. Hierbij dient opgemerkt dat een temperatuurgradiënt wel relevant is, omdat deze tot lokaal afwijkende relatieve luchtvochtigheden leidt. De acceptabele temperatuurgradiënt hangt af van de ruimtelijke RV en T maar mag niet tot een onacceptabele fluctuatie van de lokale RV leiden.

De relatieve luchtvochtigheidfluctuatie

Uit praktijk blijkt dat de eis voor acceptabele RV-fluctuaties in de loop der tijd steeds strenger is geworden: namelijk van ±3% naar ±2,5% en zelfs ±1,5%. Omdat deze zeer kleine fluctuaties nauwelijks meetbaar zijn, laat staan regelbaar, en het risico op schade niet afneemt van ±5% naar ±1,5%, wordt tegenwoordig gesteld dat het meest gecontroleerde binnenklimaat een acceptabele fluctuatie van ±5% heeft. In de nieuwe benadering wordt geen aandacht besteed aan de snelheid waarmee fluctuaties mogen optreden. Er wordt echter wel een onderscheid gemaakt tussen kortdurende fluctuaties en seizoensaanpassingen. Met dit laatste wordt het verschil tussen zomer en winter bedoeld, waarbij de herfst en lente de overgangsperioden vormen. Tevens zijn verschillende klimaatklassen gedefinieerd (zie tabel 7 op pagina 87) die zich onderscheiden door de steeds groter wordende acceptabele korte en/of lange fluctuaties: ±5%, ±10%, ±20% (zie ook bijlage 6 op pagina 143 in *Klimaatwerk*).

<invoegen: lang of kort, snel of langzaam?>

In tabel 1 wordt voor verschillende objectgroepen het belang van beheersing van de temperatuur- en RV-streefwaarde en de daarop heersende fluctuaties.

Tabel 1: objectgroepen met het relatieve belang voor het beheersen van een specifieke klimaatparameter. Met een kleurencodering is aangegeven of de streefwaarde en/of de fluctuatie van de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid belangrijk zijn. Groen betekent dat beheersing van de betreffende klimaatparameter onbelangrijk is. Met oranje wordt aangegeven dat beheersing belangrijk kan zijn en met rood dat beheersing belangrijk is. In de tabel wordt ten behoeve van de beoordeling van het belang van de streefwaarde voor de relatieve luchtvochtigheid deze hoe dan ook tussen de 35% (uitdroging) en 75% (grens voor schimmelvorming) gesteld. De temperatuurstreefwaarde kent deze beperking niet.
Het getal in de cel verwijst naar de eindnoten waarin een korte toelichting wordt gegeven. Indien van toepassing is een verwijzing naar Klimaatwerk opgenomen.

	Collectie	**T Streefwaarde**	**T Fluctuatie**	**RV Streefwaarde**	**RV Fluctuatie**
schilderijen	Olieverf (doek)	1	2	3	4
	Acryl (doek)	5	6	7	8
	Paneel (olie, tempera)	9	10	11	12
	Metaal (olie)	13	14	15	16
Textiel	Onbespannen (kleding, gordijnen, tapijten)	17	18	19	20
	Opgespannen (meubels, wandbespanning)	21	22	23	24
Hout	Beelden onbeschilderd	25	26	27	28
	Beelden beschilderd	29	30	31	32

	Collectie	T Streefwaarde	T Fluctuatie	RV Streefwaarde	RV Fluctuatie
	Meubels	33	34	35	36
	Gevriesdroogd	37	38	39	40
Papier	Werken op papier	41	42	43	44
	Boeken & documeneten voor 1850 (goede kwaliteit)	45	46	47	48
	Boeken & documenten na 1850 (slechte kwaliteit)	49	50	51	52
Metaal	Archeologisch IJzer / Brons	53	54	55	56
	Historisch IJzer / Brons	57	58	59	60
	Edel	61	62	63	64
	Onedel	65	66	67	68

	Collectie	T Streefwaarde	T Fluctuatie	RV Streefwaarde	RV Fluctuatie
Fotografisch materiaal	Zwart/wit foto's	69	70	71	72
	Kleurenfoto's	73	74	75	76
	Cellulose-acetaat, -nitraat negatieven	77	78	79	80
	CD / video	81	82	83	84
Leer	Onbespannen (schoenen, tuigen, kleding)	85	86	87	88
	Opgespannen (wandbespanning, muziekinstrument, zadels, meubels)	89	90	91	92
Glas	Stabiel	93	94	95	96
	Instabiel	97	98	99	100
Keramiek	Aardewerk, steengoed en porselein	101	102	103	104

	Collectie	T Streefwaarde	T Fluctuatie	RV Streefwaarde	RV Fluctuatie
	Poreus materiaal met zouten	105	106	107	108
	Gips	109	110	111	112
Instrumenten	Klokken	113	114	115	116
	Messing apparatuur	117	118	119	120
Synthetische polymeren	Polyurethaan (PUR)	121	122	123	124
	Polyethyleen, polypropyleen, nylon, polyesther, acrylaat	125	126	127	128
	Polymeren met weekmakers (PVC, PVAc)	129	130	131	132
	Celluloseacetaat / -nitraat	133	134	135	136
Natuur historis	Opgezette dieren	137	138	139	140

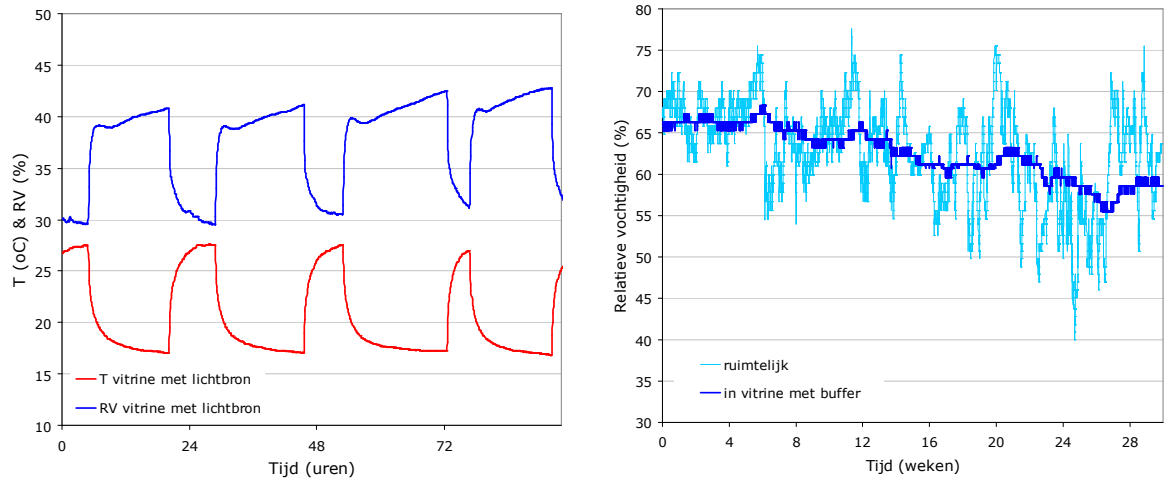
	Collectie	T Streefwaarde	T Fluctuatie	RV Streefwaarde	RV Fluctuatie
	Alcoholpreparaten	141	142	143	144
	Skeletmateriaal	145	146	147	148
	Mineralen & Fosielen	149	150	151	152
	Herbaria (gedroogde planten	153	154	155	156

WAT TE DOEN?

De klimaatspecificaties opgesteld voor optimaal collectiebehoud kunnen nooit los gezien worden van de bouwfysische eigenschappen van de ruimte waarin deze collectie gehuisd wordt, zo zal in een gebouw met slechte bouwfysische eigenschappen, uitgerust met een goede installatie geen optimaal klimaat gerealiseerd kunnen worden. Er kan bijvoorbeeld sprake zijn van koudebruggen waardoor tijdens het stookseizoen condensatie optreedt als de oppervlakte temperatuur lokaal onder het dauwpunt komt. Soms is dit zichtbaar op (enkel glas) ramen, maar het kan ook buiten het blikveld in de constructie optreden, met alle gevolgen van dien. **De klimaatspecificaties moeten recht doen aan de bouwfysische eigenschappen van de ruimte waarvoor ze gelden!**

Bij het formuleren van de gewenste klimaatcondities in tentoonstellingszalen moet men zich bewust zijn van het gebruik van vitrines. Het klimaat in vitrines kan enorm afwijken van het klimaat op zaal, soms is het veel stabieler, maar soms ook veel slechter. De meest voorkomende reden voor een minder goed klimaat is het gebruik van warmte producerende verlichting. Hierdoor zal de temperatuur en de RV in de vitrines een (sterk) dag-nachtpatroon vertonen. Zie figuur 3 links waarin het klimaat over ongeveer 5 dagen wordt getoond. Gebruik van vochtbufferende materialen in een afgesloten vitrine kan daarentegen de RV enorm stabiliseren. In figuur 3 rechts is het klimaat gedurende een half jaar gepresenteerd.

Figuur 3: twee klimaten, RV en T in een vitrine met buffer (links) en een klimaat in een vitrine met interne verlichting.



In een depot kunnen objecten die gevoelig zijn voor RV fluctuaties worden afgeschermd voor het ruimtelijke binnenklimaat door middel van zakken, dozen en/of kasten. Hoe minder lucht en hoe meer hygroscopisch materiaal (object en eventueel toevoegingen) in de verpakking aanwezig is des te stabieler zal de RV in de zak zijn. Hierbij moet nadrukkelijk worden vermeld dat er geen grote temperatuur gradiënten aanwezig mogen zijn!
Soms kunnen kwetsbare voorwerpen in een kast worden geplaatst en kan de RV in de kast met behulp van vochtbufferende materialen (enigszins) gestabiliseerd worden. De kast mag niet al te lek zijn want de uitwisseling van lucht tussen de ruimte en de kast bepaald hoe lang de RV op een bepaalde waarde blijft. Zeer gesloten kasten kunnen seizoenschommelingen dempen.

EEN VOORBEELD

Een fictief stedelijk museum met een gemengde collectie (zie tabel 2) bestaande uit schilderijen op doek, enkele op paneel, enkele meubelen, een uitgebreide collectie klederdracht en enkele metalen voorwerpen moet ten behoeve van de verbouwing van het museum een PvE opstellen. Het is de bedoeling de tentoonstelling opnieuw in te richten en het depotsituatie te optimaliseren.

Tabel 2: De collectie in aantallen in verschillende waardegroepen

collectie	**Aantal**	**topstukken**	**kern**	**ondersteun**
Schilderijen (doek)	150	50	75	25
Schilderijen (paneel)	50	5	25	20
Meubelen	10	1	5	4
Textiel	100	50	25	25
Brons	25	10	10	5

De topstukken worden allen permanent tentoongesteld, de kerncollectie af en toe terwijl de ondersteunende collectie permanent in het depot ligt.
Nu kan per deelcollectie in kaart worden gebracht in welke mate het belangrijk is een bepaalde klimaatparameter te beheersen. In onderstaande tabel is dat in kleur weergegeven: groen is waarschijnlijk niet belangrijk, oranje eventueel en rood waarschijnlijk wel (zie tabel 3).

Tabel 3: het belang van controle over het klimaat voor de collectie (zie ook Tabel 1)

collectie	T		RV	
	Streefwaarde	**Fluctuatie**	**Streefwaarde**	**Fluctuatie**
Schilderijen (doek)				
Schilderijen (paneel)				
Meubelen				
Textiel				
Brons				

Nu zou er eigenlijk in de collectie gekeken moeten worden welke objecten uit de deelcollectie werkelijk gevoelig zijn. Hierin speelt toestand, wel of niet achter glas of in een doos een essentiële rol. Tevens is er de vraag of een klein risico acceptabel is, of dat ieder risico volledig moet worden uitgesloten. Er van uitgaande dat voor de ondersteunende collectie een klein risico en voor de kern en topstukken geen risico geaccepteerd wordt, kan met behulp van onderstaande tabel een inschatting worden gegeven van de ruimte behoefte per klimaatzone. Omdat de klimaatrisico's voor een belangrijk deel bepaald worden door de fluctuatie van de relatieve luchtvochtigheid (zie rode cellen in laatste kolom in tabel 3) is hier een keuze te maken. In werkelijkheid moet een goede analyse van de gevoeligheid per materiaalgroep gemaakt worden en dat kost enige tijd.

Tabel 4: risico's voor verschillende objectgroepen als gevolg van verschillende relatieve luchtvochtigheid fluctuaties.

	Laag gevoelige objecten	**Gevoelige objecten**	**Zeer gevoelige objecten**	**bijzonder gevoelige objecten**
± 40 RV	Geen tot weinig schade	Weinig tot veel schade	Zeer veel schade	Zeer veel schade
± 20 RV	Geen tot zeer weinig schade	Geen tot weinig schade	Weinig tot veel schade	Zeer veel schade
± 10 RV	Geen schade	Geen tot zeer weinig schade	Geen tot weinig schade	Weinig tot veel schade
± 5 RV	Geen schade	Geen schade	Geen tot zeer weinig schade	Geen tot zeer weinig schade
Schilderijen	Acrylverf	Rigide verf op doek Meeste olieverf schilderijen op doek (indien van hoge leeftijd dan zeer gevoelig)	Olieverf / vergulding op brede rigide dragers	Verf over naden waar spanning op hoopt
Houten objecten	Zie Klimaatwerk tabel 3 op pagina 52			
Archief-materiaal	Zie Klimaatwerk tabel 5 op pagina 67			
Rest	Onbespannen geweven organische objecten	Bespannen geweven organische objecten		

Voor de collectie kan nu per collectieonderdeel gekeken worden naar het gewenste klimaat (tabel 5).

Tabel 5: de klimaatspecificaties voor de collectie

collectie	**Temperatuur**		**Relatieve luchtvochtigheid**		
	Streefwaarde	**Fluctuatie**	**Streefwaarde**	**Fluctuatie**	
				Geen risico (top + Kern)	**Klein risico (ondersteun)**
Schilderijen (doek)	**15-20°C**	**nvt**	**50%**	**±5%**	**±10%**
Schilderijen (paneel)	**15-20°C**	**nvt**	**50%**	**±5%**	**±10%**
Meubelen	**15-20°C**	**nvt**	**50%**	**±5%**	**±10%**
Textiel	**15-20°C**	**nvt**	**50%**	**±10%**	**±20%**
Brons	**15-20°C**	**nvt**	**25%**	**±10%**	**±20%**

TOT BESLUIT

De meest gestelde vraag aan het Instituut Collectie Nederland (nu de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed) over het binnenklimaat is: welk binnenklimaat er moet worden gehandhaafd? Deze vraag is niet eenvoudig te beantwoorden want het antwoord zal per situatie enigszins verschillen. Het heeft te maken met:

- de gevoeligheid van de (deel)collecties die bepaald wordt door de staat van de voorwerpen en de wijze van tentoonstellen en opslaan;
- de waarde van de (deel)collectie en de distributie daarvan over de collectie;
- de financiële middelen die ter beschikking staan voor implementatie en onderhoud van een gekozen klimaatstrategie;
- de mogelijke procedurele ondersteuning vanuit en kennis over het binnenklimaat in de organisatie.

De klimaatspecificaties kunnen nooit gezien worden als alleen maar getallen.
Een belangrijke leidraad in de besluitvorming is de zoektocht naar de kwetsbare en waardevolle objecten. Als de kwetsbaarheid van de objecten gekoppeld wordt aan de (cultuurhistorische, economische, emotionele) waarde ervan, kan een prioriteit toegekend worden. Want de meest waardevolle en kwetsbare objecten verdienen onze aandacht en budgetten. Voor ongevoelige en minder waardevolle objecten kunnen risico's beter geaccepteerd worden. Er moet dus in de collectie gezocht worden naar objecten die:

– kwetsbaar zijn en daardoor een hoog risico op schade lopen in het heersende binnenklimaat;
– veel waarde verliezen bij materieel verval als gevolg van een verkeerd binnenklimaat.

Men moet dus streng zijn, daar waar nodig, maar verder vooral realistisch blijven!

NOTEN BIJ TABEL 1

[1] Olieverf gedraagt zich bij een temperatuur lager dan 12°C glasachtig waardoor het risico op mechanische breuk toeneemt (Klimaatwerk, p. 83). De veroudering van de organische componenten in het schilderij zoals het bindmiddel en de oppervlakteafwerking zoals vernis verloopt sneller bij hogere temperatuur. ede oppervlakte laag, zoals het vernis kan eventueel vervangen worden, cross linken van het bindmiddel is onomkeerbaar. Een lage temperatuur is bevorderlijk voor het behoud (*Klimaatwerk*, p. 78) en weegt waarschijnlijk op tegen het risico op mechanische breuk. Een streefwaarde tussen de 15°C en 25°C wordt aanbevolen.

[2] De thermische uitzettingscoëfficiënt van het doek (linnen) en de verflaag is zo klein (typisch 44 tot 64.10^{-6} /°C voor de verf) ten opzichte van de hygrische uitzettingscoëfficiënt dat de opbouw van spanning bij een temperatuurschommeling verwaarloosbaar wordt. Alleen bij hele grote temperatuurschommelingen, bijvoorbeeld tijdens transport, kan eventueel een risicovolle spanning opgebouwd worden.

[3] Bij een lage RV zal de beeldlaag waarschijnlijk iets glasachtiger (bros) zijn dan bij hoge RV. Bij een hogere RV is het schilderij iets elastischer en is het risico op mechanische breuk iets lager.

[4] Zie *Klimaatwerk*, p. 57 voor de inhoudelijke argumenten en pagina 63 voor de uiteindelijke risico's.

[5] Rond de 20°C is een acrylaat flexibel, onder de 10°C wordt de verf hard en stijf en neemt het risico op mechanische breuk toe. Bij hogere T kan uit de verf één van de gemengde grondstoffen (surfactant) migreren, wat een plakkerig oppervlak tot gevolg heeft. Zie ook *Klimaatwerk*, p. 83.

[6] De thermische uitzettingscoëfficiënt is zo klein ten opzichte van de hygrische uitzettingscoëfficiënt dat deze verwaarloosbaar wordt.

[7] Een lage RV is voor emulsieverf een minder groot risico op breuk dan voor olieverf. Een ietwat hoge, maar stabiele RV is geen risico. Bij voorkeur tussen de 40 en 60% houden.

[8] Zie noot 4.

[9] Zie noot 1

[10] Grote temperatuurschommelingen geven slechts een kleine volumeverandering van een paneelschilderij. Een temperatuurfluctuatie van 20°C geeft dezelfde dimensionele verandering als een RV fluctuatie van 2,3% (M. Richard, The benefits and disadvantages of adding silica gel to microclimate packages for panel paintings, Museum microclimates: contributions to the Copenhagen conference (2007) 237-243). Kleine fluctuaties van de temperatuur zullen geen risico op mechanische breuk geven.

[11] Bij een hogere RV is het schilderij elastischer dan bij lage RV, waardoor het risico op mechanische breuk bij lage RV toe neemt.

[12] Zie *Klimaatwerk,* p. 55.

[13] Zie noot 1

[14] De thermische uitzettingscoëfficiënt van koper is 17.10^{-6}/°C en 44 tot 64.10^{-6} /°C voor de verf, het verschil tussen beiden is dusdanig klein dat spanning en daarmee het risico op breuk (craquelé) verwaarloosbaar is in een museaal binnenklimaat.

[15] Naast een invloed op de snelheid van de chemische veroudering van de beeldlaag zal bij een hogere temperatuur ook de drager (vaak koper) sneller kunnen corroderen.

[16] Over het algemeen zijn schilderijen op koper in een veel betere conditie dan schilderijen op doek en dus veel minder gevoelig voor klimatologische impact. De meeste schade aan dit type schilderijen is vooral van mechanische aard, zoals stoten waardoor de drager is vervormd. (Horovitz, I., The materials and techniques of European paintings on copper supports, *Copper as Canvas,* Oxford University Press (1999) 63-92).

[17] Plantaardige vezels (vlas / linnen / katoen) bestaan uit cellulose-polymeren, die depolymeriseren onder invloed van hoge RV en T. De snelheid van de chemische veroudering van de textielvezel is afhankelijk van het type vezel (natuurlijk of synthetisch) en de wijze van bewerking. Katoen, linnen, wol , nylon, polyester verouderen relatief langzaam, terwijl verzwaarde zijde (geïmpregneerd met metalen) relatief snel veroudert. Bij hogere T zal het chemisch verval sneller verlopen dan bij lage T.

[18] De thermische uitzettingscoëfficiënt van de textielvezel is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de hygrische uitzettingscoëfficiënt. Temperatuurfluctuaties worden insignificant ten opzichte van RV fluctuaties.

[19] Sommige vezels verouderen sneller bij hoge RV, zoals de afbraak van zwavelhoudende aminozuren in wol of de depolymerisatie van nylon en plantaardige vezels door een hydrolyse reactie, zodat een lagere RV bevorderlijk is voor het behoud.

[20] Zie *Klimaatwerk* pagina 63.

[21] De meeste vezelmaterialen zullen een gemiddelde chemische stabiliteit hebben (zie Tabel 2 op pagina 37 van *Klimaatwerk*), verzwaarde zijde zal in de laag chemisch stabiele klasse vallen. De veroudering van de textielvezels verloopt sneller bij hogere temperatuur.

[22] Zie noot 18.

[23] Zie noot 19.

[24] Zie *Klimaatwerk* pagina 65.

[25] Het evenwichtsvochtgehalte van hout is primair afhankelijk van de RV aan het oppervlak. De temperatuur heeft slechts een zeer beperkte invloed op het vochtgehalte in het hout. Het houtvochtgehalte van bijvoorbeeld spar bij 50% RV en een temperatuur van 22°C bedraagt zo'n 9%. Voor iedere 1-4°C verhoging wordt het evenwichtsvochtgehalte zo'n 1% lager (en *vice versa*). Bij lage temperatuur is de diffusiesnelheid van vocht veel kleiner dan bij hoge temperatuur. Het risico op mechanische breuk door RV-fluctuaties is veel kleiner in een koude omgeving dan in een warme. Zie ook: Hoadley, R.B., *Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology*, Taunton Press, Newton, CT (2000), p. 113.

[26] Zie noot 10.

[27] Bij een lage RV is hout iets minder elastisch dan bij hoge RV, maar vaak is dit geen leidend argument om een specifieke streefwaarde te kiezen.

[28] Het risico op breuk van onbeschilderd hout is scheurvorming van het oppervlak. dit is vooral een gevolg van vochtgradiënten die ontstaan tussen kern van het hout en het oppervlak. Grote fluctuaties die wel het oppervlak maar (nog) niet de kern bereiken, denk aan een fluctuatieduur van enkele uren tot een dag kunnen deze spanningen geven. Het risico is groter voor niet uitgeholde stammen. Zie voor meer informatie ook *Klimaatwerk* pagina 50.

[29] Zie noot 25.

[30] Zie noot 10.

[31] Zie noot 27

[32] Zie *Klimaatwerk* pagina 50.

[33] Zie noot 25

[34] Zie noot 10

[35] Zie noot 27

[36] Zie Klimaatwerk pagina 52.

[37] Dit zeer brosse materiaal is zeer gevoelig voor breuk door hanteren en stoten. Bij met PEG geimpregneerd materiaal speelt de temperatuur…

[38]

39

40

41 Zie *Klimaatwerk* pagina 37.

42 Omdat werken op papier vaak achter glas getoond worden moet men bedacht zijn op temperatuurgradiënten in het microklimaat. De verschillende vochtbevattende materialen zullen afhankelijk van hun lokale temperatuur vocht opnemen of afstaan, waardoor lokaal zeer afwijkende RV's kunnen heersen. De thermische uitzettingscoëfficiënt van cellulose is zeer klein. De uitzetting of krimp van papier door temperatuurwisselingen is verwaarloosbaar ten opzichte van de volumeveranderingen die als gevolg van RV schommelingen kunnen optreden.

43 Werken op papier worden vaak in een microklimaatdoos gepresenteerd en soms ook bewaard. Men moet zich zeer bewust zijn van de RV waaraan het object, passe-partout en andere bufferende materialen in de microklimaatdoos zijn geacclimatiseerd. Als de gesloten microklimaatdoos bij een andere temperatuur wordt getoond of bewaard dan zal ook de RV in de doos anders zijn. Bij een hogere temperatuur wordt de RV ook hoger en *vice versa*. De ruimtelijke RV zal echter geen invloed meer hebben op het werk in de doos.

44 Zie *Klimaatwerk* pagina 67.

45 Zie *Klimaatwerk* pagina 37.

46 Temperatuur wisselingen geven nauwelijks volume veranderingen van papieren objecten. De thermische uitzettingscoëfficiënt is zeer klein.

47 Boeken die bij een lage RV (<40%) bewaard worden zijn kwetsbaarder dan boeken die bij een hogere RV (>55%) worden bewaard. Terwijl bij lage RV het chemisch verval iets langzamer gaat wordt het object wel minder toegankelijk. Er moet dus gekozen worden tussen behoud en toegang.

48 Zie *Klimaatwerk* pagina 67.

49 Zie *Klimaatwerk* pagina 37.

50 Zie noot 46.

51 Zie noot 47.

52 Zie *Klimaatwerk* pagina 67.

53 De corrosiesnelheid hangt af van de RV en T. Bij een verlaging van de temperatuur verloopt de reactie langzamer.

54 De thermische uitzettingscoefficient van metalen en hun corrosieprodukten zijn zo klein dat het risico op breuk verwaarloosbaar klein is.

55 Zie *Klimaatwerk* pagina 41.

56 Zie *Klimaatwerk* pagina 42.

57 Historische metalen worden over het algemeen voorzien van een oppervlakteafwerking zoals een was- of vernislaag. Bij hogere temperatuur zullen deze lagen zachter worden en gemakkelijk stofdeeltjes vasthouden en vervuilen. De corrosiesnelheid zal toenemen als de temperatuur toeneemt, maar de snelheid van het proces wordt primair bepaald door de RV en de aanwezigheid van specifieke schadelijke gassen, zoals NO_x, SO_2, H_2S en O_3.

58 Temperatuurfluctuaties zijn vooral schadelijk als daardoor de temperatuur van het metaaloppervlak onder het dauwpunt komt waardoor condensatie optreedt. Condensatie kan leiden tot zeer snelle corrosie.
Het risico op mechanische schade is klein omdat de thermische uitzettingscoëfficiënt (α in meter per meter) van verschillende metalen klein is. Typische waarden zijn: brons= $17{,}5\cdot10^{-6}$/K , gietijzer= $9\cdot10^{-6}$/K, goud= $14{,}2\cdot10^{-6}$/K, koper= $16{,}5\cdot10^{-6}$/K, messing= $18{,}4\cdot10^{-6}$/K, staal=$12{,}0\cdot10^{-6}$/K en tin= $26{,}7\cdot10^{-6}$/K.

[59] Historische metalen worden over het algemeen voorzien van een oppervlakteafwerking zoals een was- of vernislaag waardoor het oppervlak minder toegankelijk is voor corrosieprocessen. Echter: hoe lager de RV, hoe langzamer corrosie optreedt en vice versa, Zie Klimaatwerk, p. 40.

[60] Er is geen risico op mechanische schade door opname en afgifte van vocht. Echter: corrosieprocessen verlopen sneller bij hoge RV, maar langzamer bij lage RV.

[61] Onder edelmetalen worden goud, zilver, platina en palladium verstaan, die op zilver na alle inert zijn. Er is voor deze metalen dan ook geen specificatie van de temperatuur of RV noodzakelijk. Zilver zal onder invloed van H_2S aanlopen. Dit proces verloopt sneller bij hoge temperatuur.

[62] Zie noot 61.

[63] Zilver zal onder invloed van H_2S aanlopen. Dit proces verloopt sneller bij hoge RV. Bij lage RV neemt de snelheid significant af, terwijl de aanloopsnelheid ongeveer het elfde is als de RV tussen de 30% en de 60% is. Daarboven verloopt de reactie veel sneller. P. Backlund, B. Fjellstrom, S. Hammarback, B. Maijgren, "The influence of humidity on the reactions of hydrogen sulphide with copper and silver", in: *Arkiv for Kemi* 26 (1967) 267-277.

[64] Zie noot 61.

[65] Onder onedele metalen worden tin en lood verstaan. Deze metalen oxideren aan de lucht onder de vorming van een beschermend laagje dat verdere oxidatie remt. Verdere oxidatie verloopt heel langzaam maar zal bij hoge temperatuur sneller verlopen dan bij lage temperatuur.
Corrosie van lood in aanwezigheid van organisch zuur zoals azijn- en mierenzuur afkomstig uit hout (MDF en eiken) is een zeer snel proces. Bij hoge temperatuur zal de emissie van deze gassen uit hout hoger zijn en daarmee de concentratie organisch zuur.
Tin komt bij lage temperatuur voor als grijs - alfa - tin met een kubische kristalstructuur. Bij temperaturen boven de 13,2 °C verandert het naar wit - beta - tin. De overgang van het beta-tin naar alfa-tin wordt tinpest genoemd. In de praktijk wordt dit proces zelden tot nooit gevonden in (museale) tincollecties die aan lage temperatuur hebben blootgesteld gestaan.

[66] Zie noot 58.

[67] Zie noot 59.

[68] De oxodatie van tin en lood verloopt sneller bij hoge RV. Bij lage RV neemt de snelheid significant af, terwijl de aanloopsnelheid ongeveer het zelfde is als de RV tussen de 30% en de 60% is. Daarboven verloopt de reactie veel sneller.
De reactie van lood met organisch zuur verloopt over het hele RV bereik sneller bij hogere RV.

[69] Zie pagina 77. Zwart-wit foto's zijn opgebouwd uit zilverdeeltjes in een gelatine laagje op een papierdrager. De zilverdeeltjes zullen bij hogere temperatuur migreren en (versneld) oxideren (zie noot 61) waardoor foto's vervagen of lokaal donker worden (zilverspiegeling genoemd).

[70] Zie noot 2.

[71] Zie *Klimaatwerk* pagina 37 en noot 63.

[72] Foto's moeten worden aangemerkt als gevoelige documenten waarvoor geldt dat een RV-fluctuatie van ±20% geen tot weinig schade geeft. Zie pagina 67.

[73] Kleurenfoto's zijn opgebouwd uit een papieren drager waarop in verschillende lagen een cyaan, magenta en gele laag zijn aangebracht die afgedekt zijn met een UV-, anti wrijvingslaagje. Ze moeten gezien worden als objecten met een lage chemische stabiliteit (zie pagina 37 en 77). Voor dit type objecten is koude opslag een goed alternatief.

[74] Zie noot 2.
Om te voorkomen dat de beeldemulsielaag zacht wordt, moet de temperatuur onder de glastransitie-temperatuur (Tg) blijven. Bij een RV van 75% bedraagt de Tg van gelatine slechts 22ºC. Bij een RV van 65% loopt de Tg op tot 30ºC.

Materiaal dat uit een koude kluis komt met een temperatuur van 4ºC loopt een groot risico op condensatie aan het oppervlak en kan niet in één keer worden overgebracht naar een ruimte van 20ºC zonder dat de RV aan het oppervlak oploopt tot ver over de acceptabele grens. Voor de overgang naar een ruimte met een RV van 50% is een temperatuurtoename van 7ºC het maximaal aanvaardbare. Zie ook: ICN, Het bewaren van fotografisch materiaal, *Infobrochure* nr. 09 (2002).

75 Niet lager dan 30% bij een temperatuur van 20˚C. Zie ook: ICN, *Het bewaren van fotografisch materiaal*, Infobrochure nr. 09 (2002).
De kleurstoffen in de foto's vervallen sneller bij hoge RV; bij 60% ongeveer 4x sneller dan bij 15% (Lavédrine, B., *A guide to the preventive conservation of photograph collections*, The Getty Conservation Institute (2003) p. 87). Echter, bij een RV lager dan 30% bij 20˚C droogt de emulsie uit.

76 Na 150 cycli gaande van 10% naar 75% toonde de emulsielaag micro-scheuren (Lavédrine, B*., A guide to the preventive conservation of photograph collections*, The Getty Conservation Institute (2003) p.88).

77 Zie *Klimaatwerk* pagina 37.

78 Zie *Klimaatwerk* pagina 77.

79 Het behoud van dit type chemisch instabiel materiaal wordt primair bepaald door de temperatuur: hoe lager, hoe beter. Zie pagina 77.

80 Materiaal dat uit een koude kluis komt met een temperatuur van 4ºC loopt een groot risico op condensatie aan het oppervlak en kan niet in één keer worden overgebracht naar een ruimte van 20ºC zonder dat de RV aan het oppervlak oploopt tot ver over de acceptabele grens. Voor de overgang naar een ruimte met een RV van 50% is een temperatuurtoename van 7ºC het maximaal aanvaardbare. Zie ook: ICN, *Het bewaren van fotografisch materiaal,* Infobrochure nr. 09 (2002).

81 Zie *Klimaatwerk* pagina 37.

82 Zie *Klimaatwerk* noot 2.

83 De vervalsnelheid van het chemisch instabiele materiaal wordt primair bepaald door de temperatuur.

84 Zie noot 72 (Materiaal dat uit een koude kluis komt met een temperatuur van 4ºC loopt een groot risico op condensatie aan het oppervlak en kan niet in één keer worden overgebracht naar een ruimte van 20ºC zonder dat de RV aan het oppervlak oploopt tot ver over de acceptabele grens. Voor de overgang naar een ruimte met een RV van 50% is een temperatuurtoename van 7ºC het maximaal aanvaardbare. Zie ook: ICN, *Het bewaren van fotografisch materiaal*, Infobrochure nr. 09 (2002).

85 materiaal is…… er zijn verschillende verouderingsprocessen die plaatsvinden in leer (vb…..). deze processen verlopen sneller bij een hogere temperatuur.

86 De thermische uitzettingscoëfficiënt van leer is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de hygrische uitzettingscoëfficiënt. Temperatuurfluctuaties worden insignificant ten opzichte van RV fluctuaties.

87 Bij lage RV zal leer (irreversibel) uitdrogen, bij een hoge RV is het leer soepel, maar verlopen de degradatieprocessen weer senller. -

88 Onbespannen leer kan in alle richtingen gelijkmatig uitzetten en krimpen en zal nauwelijks spanningen opbouwen door wisselingen van de RV.-

89 -

90 -

91 -

92 -

93 Glas is een chemisch stabiel materiaal dat ongevoelig is.

94 Zie noot 85 (Glas is een chemisch stabiel materiaal dat ongevoelig is.)

95 Zie noot 85 (Glas is een chemisch stabiel materiaal dat ongevoelig is.)

96 Zie noot 85 (Glas is een chemisch stabiel materiaal dat ongevoelig is.)

97 De chemische reactie van chemisch instabiel glas wordt primair door de RV gestuurd.

98 Kleine fluctuaties zijn zonder risico. Als het oppervlak echter onder de dauwpuntstemperatuur komt kan condensatie optreden waardoor de chemische reactie van de zouten uit het glas zeer snel verloopt.

99 Zie *Klimaatwerk* pagina 42.

100 Zie *Klimaatwerk* pagina 42.

101 Gebakken aardewerk is een chemisch stabiel materiaal dat ongevoelig is.

102 Zie noot 93 (Gebakken aardewerk is een chemisch stabiel materiaal dat ongevoelig is)

103 Sommige voorwerpen bevatten metalen onderdelen (constructie of oude restauratie) die kunnen corroderen. Hoe lager de RV, hoe langzamer corrosie optreedt en vice versa, zie pagina 40.

104 Zie noot 93: Gebakken aardewerk is een chemisch stabiel materiaal dat ongevoelig is.

105 Het materiaal en de daarin opgenomen zouten zijn ongevoelig voor de temperatuur.

106 Zie noot 97: Het materiaal en de daarin opgenomen zouten zijn ongevoelig voor de temperatuur.

107 Zie *Klimaatwerk* pagina 42.

108 Zie *Klimaatwerk* pagina 42.

109 Gips ($CaCO_3$) is niet gevoelig voor de temperatuur.

110 Zie noot 105 (Gips ($CaCO_3$) is niet gevoelig voor de temperatuur.)

111 Veel gipsen objecten bevatten een ijzeren binnenwerk dat versneld corrodeert bij hoge RV, zie *Klimaatwerk* pagina 41.

112 zie noot 52 (Er is geen risico op mechanische schade door opname en afgifte van vocht. Echter, corrosieprocessen verlopen sneller bij hoge RV, maar langzamer bij lage RV.)

113 Voor houten klokken zie deelcollectie Hout en voor metalen klokken, historisch metaal.

114 Zie noot 109: Voor houten klokken zie deelcollectie Hout en voor metalen klokken, historisch metaal.

115 Zie noot 109: Voor houten klokken zie deelcollectie Hout en voor metalen klokken, historisch metaal.

116 Zie noot 109: Voor houten klokken zie deelcollectie Hout en voor metalen klokken, historisch metaal.

117 Zie noot 49.

118 Zie noot 50.

119 Zie noot 51.

120 Zie noot 52.

121 Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen PUR in schuim en in massieve vorm, maar ook in PUR-esters en –ethers. Het schuim is gevoeliger dan het massieve PUR. De PUR-esters hydrolyseren (vochtgevoelig), terwijl de PUR-ethers oxideren (vooral temperatuur- en lichtgevoelig). Voor beiden geldt dat de degradatie een chemisch proces dat sneller verloopt bij hogere temperatuur, zie pagina 77. Een lagere temperatuur is bevorderlijk voor het behoud.

122 Behoud wordt bepaald door de gemiddelde temperatuur, korte schommelingen hebben daar nauwelijks invloed op.

123 PUR-esters hydrolyseren, met als gevolg ketenbreuk en een brosser wordend materiaal. PUR-ether ondergaat deze degradatiereactie niet.

124 Zie noot 115.

125 Polyethyleen en polypropyleen zijn stabiele polymeren die slechts zeer langzaam oxideren.

126 Zie noot 115: Polyethyleen en polypropyleen zijn stabiele polymeren die slechts zeer langzaam oxideren.

127 Zie noot 115: Polyethyleen en polypropyleen zijn stabiele polymeren die slechts zeer langzaam oxideren

128 Zie noot 115: Polyethyleen en polypropyleen zijn stabiele polymeren die slechts zeer langzaam oxideren.

129 Polymeren waar aan weekmakers, zoals phtalaten, worden toegevoegd om thermoharders soepel en flexibel te maken zijn per definitie chemisch instabiel. De weekmakers worden langzaam uit de polymeermatrix geduwd en vormen kleverige druppeltjes aan het oppervlak. Het materiaal verliest zijn soepelheid en zal gemakkelijk breken. De snelheid waarmee dit proces verloopt, wordt primair door de temperatuur bepaald, zie ook pagina 77.

130 Zie noot 121.
131
132
133 Zie *Klimaatwerk* pagina 77.
134
135
136
137
138
139
140
141 Bij hogere temperaturen zal door verdamping van de vloeistof (alcohol of glycerol) de dampspanning toenemen. Indien er een lek aanwezig is kan het gas langzaam uit de container lekken, waardoor na verloop van tijd het preparaat droog komt te staan.
142 Als gevolg van schommelingen van de temperatuur kan in geval van een lekke container afwisselend lucht ontsnappen en (vervuilde) lucht naar binnen lekken, waardoor de hoeveelheid vloeistof zal afnemen en vervuilen.
143
144
145
146
147
148
149
150
151 Zie *Klimaatwerk* pagina 43.
152 Zie noot 151.
153
154
155
156