



Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap

Glashelder

Aandachtspunten voor museale vitrines

Rijkserfgoedlaboratorium
Bart Ankersmit

Glashelder

Aandachtspunten voor museale vitrines

Bart Ankersmit

Colofon

Glashelder

Aandachtspunten voor museale vitrines

Foto titelpagina: © Bart Ankersmit
Alle andere foto's in dit rapport, tenzij anders vermeld:
© Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Tekstredactie: Anne Versloot

Inhoudelijke redactie: Agnes Brokerhof, Peter Vereecken, Marc Stappers, Foekje Boersma,
Marco Martens, Gabrielle Beentjes, Nina Dugen, Agnes Vugts

Vormgeving: Xerox/Osage

Hoe te refereren naar dit document:

Ankersmit, B., 2023, *Glashelder*, Amsterdam, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Rijks erfgoedlaboratorium.

© Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 2023

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Postbus 1600

3800 BP Amersfoort

www.cultureelerfgoed.nl

1 Inleiding	5	7 Kies de optimale vitrine	45
Leeswijzer	5	Stap 1 – Waarom een vitrine?	47
2 Een kleine geschiedenis	7	Stap 2 – Welke objecten komen in de vitrine?	48
» <i>De guillotine – van binnen naar buiten</i>	13	Stap 3 – Voor welke schadefactoren is de collectie gevoelig?	48
3 Constructiematerialen – (plexi)glas, hout, metaal en verf	15	Stap 4 – Welke risico's zijn er in de ruimte?	50
Glas	15	Stap 5 – Welke prestatie moet de vitrine leveren?	51
Plexiglas	16	» <i>Een archeologische collectie in een metrostation</i>	53
Andere materialen	16	8 Onderhoud en opknappen	55
Afsluitend advies	17	Afsluitend	55
4 Veiligheid – bescherming tegen de mens	19	» <i>Een vitrine voor een compleet huis</i>	57
Afsluitend advies	20	9 Vitrine in een lijst: de microklimaatdoos	59
» <i>Delftsche slaolie – een niet-museale bruikleen</i>	21	Waarom is een microklimaatdoos effectief bij de stabilisering van de relatieve luchtvochtigheid?	60
5 Luchtdichtheid – bescherming tegen de omgeving	23	Hoe maak je een microklimaatdoos?	61
Opsporen van gaten en kieren	23	Aandachtspunten voor het gebruik van een microklimaatdoos	61
Drie transportmechanismen – diffusie, infiltratie en permeatie	24	» <i>Speciale microklimaatdozen voor een speciale collectie</i>	63
Een luchtdichte vitrine	27	10 Afsluitend	65
» <i>De zijden japon – vanuit de zee, de vitrine in</i>	29	11 Begrippenlijst	67
Meten van het infiltratievoud	30	Bijlage 1 – Berekenen van de hoeveelheid silica gel in Excel	69
Aandachtspunten voor luchtdichte vitrines	31	Bronnen	71
» <i>Zilver in dezelfde zaal, maar met grote verschillen</i>	34		
6 Stabilisering van het klimaat	37		
Passieve klimatisering	37		
Bufferen van temperatuur	41		
Actieve klimatisering	41		
Afsluitend	42		
» <i>Een veilig klimaat voor de manuscripten van Anne Frank</i>	43		



Een openstaande vitrine in het Rijksmuseum in 1952 (foto: Rijksmuseum).

Een belangrijk doel van musea en erfgoedinstellingen is om een zo breed mogelijk publiek in contact te brengen met hun collecties en de verhalen daarover. Dat gebeurt op verschillende manieren: objecten worden verzameld, tentoongesteld, bewaard en bestudeerd. In de omgang met de objecten moet altijd rekening worden gehouden met de materialen waarvan de voorwerpen zijn gemaakt en hun constructies. Beide zijn immers onderhevig aan verval. Of dat nu is door de inwerking van licht (op bijvoorbeeld lichtgevoelige kleurstoffen in Japanse prenten), mensen (verplaatsing van objecten), verontreiniging (stof) of door een verkeerd binnenklimaat (een te hoge relatieve luchtvochtigheid). Erfgoedinstellingen en musea zijn voortdurend bezig met het voorkomen of behandelen van de veranderingen die objecten, materialen en constructies ondergaan.

In de ruimten waar collecties bewaard en tentoongesteld worden, is een scala aan maatregelen mogelijk om dat verval te minimaliseren. In depots zorgen kasten, dozen, zakken, klimaatinstallaties en luchtdichte en lichtvrije ruimten voor een acceptabel risiconiveau. Maar in tentoonstellingszalen waar de collectie en het publiek samenkomen, zijn de mogelijkheden voor bescherming beperkt. Gelukkig zijn er ook veel objecten die niet gevoelig zijn voor de bedreigingen in een tentoonstellingsruimte. In dat geval zijn extra beschermingsmaatregelen niet nodig. Maar voor sommige objecten is een barrière tussen het object en de bezoeker wel degelijk gewenst. Een vitrine kan dan uitkomst bieden. Vitрины zijn er in allerlei vormen, maten en kwaliteiten – van standaard toonkasten tot geavanceerde vitrines.

In de praktijk worden tal van vitrines gebruikt. Van heel groot tot piepklein, van uiterst geavanceerd tot rechttoe rechtaan, van gangbaar tot op maat. Gelukkig is de keuze van een vitrine in veel gevallen redelijk eenvoudig en kunnen objecten met weinig risico getoond worden – de glasplaat biedt bescherming en daarmee is een acceptabel beschermingsniveau geboden. Maar niet alle objecten kunnen zonder kennis van zaken in een gemiddelde vitrine geplaatst worden. Soms vraagt het object meer en moet de vitrine een beter beschermingsniveau bieden. Dan is kennis van zaken noodzakelijk. Kennis over het gedrag van vitrines of over de werking van vocht bufferende materialen.

Leeswijzer

In deze publicatie is informatie te vinden over de achtergronden van vitrines, de materialen die geschikt zijn voor de constructie van vitrines en daarnaast worden diverse, meer fysische aspecten over luchtdichtheid en klimaatcontrole uitgelegd. Ook is er een vijfstappenplan uitgestippeld om uit te komen op de voor u meest optimale vitrine. Bovendien geven de praktijkvoorbeelden van een aantal bijzondere vitrines een indruk van de vele mogelijkheden die er tegenwoordig zijn.

Deze informatie is bedoeld om tentoonstellingsontwerpers, -bouwers, conservatoren, collectiemanagers, vitrinebouwers en anderen te helpen bij de keuze voor de juiste vitrine(s). Ook voor wie een bestaande vitrine wil optimaliseren of een nieuw exemplaar wil aanschaffen. Kortom, een glasheldere brochure vol ideeën, inspiratie en advies.



Met silica gel geklimatiseerde vitrines in Museum Kaap Skil in Oudeschild op Texel (foto: Bart Ankersmit).

Het tentoonstellen en beschermen van bijzondere objecten gaat ver terug. In Nederland konden alleen de gefortuneerden uit de 16^{de} en 17^{de} eeuw het zich veroorloven om alles wat maar enigszins interessant en exotisch was te verzamelen. Die vroege collecties bestonden uit door de mens gemaakte voorwerpen en zeldzaamheden uit de natuur, meestal samengebracht in een rariteiten- of kunstkabinet. Schelpen, opgezette dieren, waaiers, bokalen, zilverwerk, fossielen, mineralen



Afbeelding 1. Porseleinkast uit 1720 in de collectie van het Rijksmuseum (foto: Rijksmuseum).

en allerlei andere zeldzame voorwerpen werden naast elkaar gezet in kasten.

In Nederland ontstonden dit soort collecties via uitgebreide handelscontacten en door de toenemende welvaart. Om de voorwerpen te laten zien, werden speciale vertrekken ingericht met toonkasten. Minder vermogende particulieren hadden aparte kasten voor bijvoorbeeld hun porselein. De kasten waren onderin gesloten en bovenin voorzien van glas (afb. 1).

De eerste Nederlandse musea vinden hun oorsprong in die privécollecties en rariteiten- en kunstkabinetten. Een dergelijke verzameling heeft ook aan de basis gestaan van het eerste museum in Nederland: het Teylers Museum in Haarlem. Toen dat museum in 1784 openging, werd al volop gebruik gemaakt van vitrines (afb. 2). Hun belangrijkste functie was om de objecten te beschermen tegen diefstal en de kolendampen in de buitenlucht.

De tafelvitrites in het midden van de Ovale Zaal hadden een dubbele functie. Bovenin werden de objecten tentoongesteld en onderin was ruimte om de collectie te bewaren. In die dagen hadden musea geen aparte depots, tonen en bewaren speelden zich beide af op zaal.

Gezond verstand

In de beginjaren van de musea werden vitrines gekozen op basis van gezond verstand en praktische ervaring. Er was nog geen wetenschappelijke grondslag op basis waarvan specifieke eisen aan de vitrines werden gesteld. De meeste exemplaren waren door ambachtslieden gebouwd, vaak van (eiken)hout en glas.



Afbeelding 2. Links: de Ovale Zaal van het Teylers Museum werd in 1784 opengesteld voor bezoekers en is sindsdien vrijwel onveranderd gebleven. Rechts: de huidige tentoonstellingszaal in het Huis van het Boek in Den Haag, dat in 1852 is ingericht (foto's: beeldbank RCE).

Een van de eerste onderzoekers die zich bogen over de bescherming van gevoelige materialen was de Duitse scheikundige Friedrich Ratghen uit Berlijn. In het begin van de 20^{ste} eeuw was de raadselachtige en snel voortwoekerende corrosie van archeologische bronzen een groot probleem. De oorzaak van die bronsziekte, zoals die werd genoemd, bleef lange tijd duister. Al werd wel gauw duidelijk dat droge lucht bevorderlijk was voor het behoud van deze oudheden. Ratghen ontwikkelde terstond de luchtdichte vitrine.

Hij zette een glazen kap in een goot die hij met minerale olie had gevuld. Door de afsluiting met olie kon er geen lucht meer in of uit de vitrine komen. Daarnaast droogde hij de lucht in de vitrine door schalen met natriumhydroxide kristallen onder de presentatiebodem neer te zetten.¹ Zo konden de bronzen met actieve corrosie in die tijd toch verantwoord worden tentoongesteld.

Meer verfijnd

Het gebruik van zouten en verzadigde zoutoplossingen om voor een specifieke en stabiele relatieve luchtvochtigheid te zorgen, is vanaf die begintijd steeds meer verfijnd.² Omdat het gebruik van zouten, zoutoplossingen en silica gel alleen succesvol is als de uitwisseling van lucht met de omgeving beperkt blijft, publiceerde Tim Padfield al in 1960 over de achtergronden van de wijze waarop lucht zich verplaatst.³ Ook raadde hij in zijn publicatie aan een siliconen membraan te maken en die boven een natriumbromide-oplossing te spannen. Zo kon een constante relatieve luchtvochtigheid van 58% in de vitrine worden bereikt zonder dat zoutkristallen de objecten zouden kunnen vervuilen.

Vanaf de jaren zestig werd (natuur)wetenschappelijk onderzoek steeds vaker ingezet voor de bescherming van museale objecten. Toen heette dat nog passieve conservering en was het onderzoek vooral gericht op de verbetering van de klimatologische omstandigheden en de vermindering van de invloed van (zon)licht en luchtverontreiniging. In een eerste overzichtspublicatie werd vooral ingegaan op de typologie van vitrines, met speciale aandacht voor hun toegankelijkheid en verlichting.⁴

In 1985 verscheen een publicatie met daarin een uitgebreide presentatie van de nieuwste wetenschappelijke

inzichten.⁵ Met onder andere aandacht voor passief geklimatiseerde vitrines⁶, een module om de relatieve luchtvochtigheid actief te beheersen⁷, een gekoelde vitrine⁸ en zelfs een zuurstofvrije vitrine⁹. In 1994 werd het eerste internationale congres georganiseerd met als thema preventieve conservering.¹⁰

Zwart uitgeslagen zilver

In Nederland begon het onderzoek naar de kwaliteit van vitrines iets later. Bij de inrichting van tentoonstellingen kregen musea onder andere te maken met witte kristallen op schelpen en loden voorwerpen, koperen objecten die groen werden en zilveren voorwerpen die zwart uitsloegen. Het was destijds onduidelijk wat die veranderingen aan de oppervlakte precies betekenden en wat de oorzaak van die chemische reacties was (zie afb. 3).¹¹

Het onderzoek naar die verschijnselen richtte zich in eerste instantie op metingen van de concentratie organische zuren die afkomstig waren uit de constructiematerialen, zoals MDF en eikenhout, kit en verf.¹²



Afbeelding 3. In 2001 sloegen tijdens een tijdelijke tentoonstelling in het Scheepvaartmuseum in Amsterdam enkele messing voorwerpen groen uit. Bij een analyse bleek dat op het oppervlak een mengsel van koperacetaat, koperformiaat en koperstearaat was gevormd. Omdat na het schilderen van de vitrines de tentoonstelling te snel was ingericht, kwamen er nog schadelijke organische componenten uit de verf vrij, zoals formaldehyde en azijnzuur. Die verbindingen hechten aan het metaal onder de vorming van groene corrosieproducten (foto: Bart Ankersmit).

¹ Ratghen, F., 'Mittelungen aus dem Laboratorium der Koniglichen Museen zu Berlin: VI. Luftdichte Museumschranke', *Museumkunde* 5 (1909) 97-102.

² O'Brien, F.E.M., 'The control of humidity by saturated salt solution', *Journal of Scientific Instruments* 25 (1948) 73-76.

³ Padfield, T., 'The control of relative humidity and air pollution in showcases and picture frames', *Studies in Conservation* vol. 11 (1960) 8-30.

⁴ 'Museum showcases', *Museum*, Vol XIII, no 1 (1960).

⁵ 'Show-cases', *Museum*, No 146, Vol XXXVII, no 2 (1985).

⁶ Barette B., 'Climate control, active and passive, Show-cases', *Museum*, No 146, Vol XXXVII, no 2 (1985) 81-84.

⁷ Michalski S., 'A relative humidity control module, Show-cases', *Museum*, No 146, Vol XXXVII, no 2 (1985) 85-88.

⁸ Padfield T., 'A cooled display case, Show-cases', *Museum*, No 146, Vol XXXVII, no 2 (1985) 102-103.

⁹ Calmes, A., 'Charters of freedom of the United States, Show-cases', *Museum*, No 146, Vol XXXVII, no 2 (1985) 99-101.

¹⁰ IIC, *Preventive Conservation: practice, theory and research*, Ottawa (1994).

¹¹ Hallebeek P., 'Onderzoek naar emissie verlagende maatregelen t.a.v. formaldehyde en organische zuren in vitrines', Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap, Onderzoeksdossier 1605 (1991).

¹² Bommel M., 'Corrosion of copper and lead by formaldehyde, formic and acetic acid vapours', Instituut Collectie Nederland, Onderzoeksdossier 2709 (2000).



Afbeelding 4. De ontwikkeling van de vitrines in het Rijksmuseum. De tentoonstelling in 1890 (linksboven), in 1924 (rechtsboven), in 1954 (links, midden), in 1973 (rechtsonder) en in 1999 (linksonder) – (foto's: Rijksmuseum).

Er rezen daarbij ook vragen over de luchtdichtheid van vitrines. Moesten die vitrines ventileren of juist totaal afgesloten zijn? Verder werd onderzoek gedaan naar deugdelijke constructiematerialen voor vitrines. Met behulp van de zogenaamde Oddy-test¹³ werd vastgesteld of ze geschikt waren voor een langdurige of kortstondige toepassing, of maar beter helemaal niet gebruikt konden worden.

Het gebruik van houten plaatmaterialen, zoals MDF, spaanplaat en eikenhout werd afgeraden voor de constructie van vitrines. En dat terwijl juist eikenhout in het verleden vaak was toegepast bij de bouw van vitrines en bewaarkasten. Uit het hout en de verlijming komt formaldehyde en azijnzuur vrij die daarna met bijvoorbeeld koper in het messing kunnen reageren tot een groen koperacetaat (zie afb. 3). Uit niet-zuurvrije siliconenkits komen vergelijkbare organische zuren vrij met eenzelfde groene corrosie tot gevolg.

Vanaf de jaren tachtig waren musea en historische huizen steeds vaker voorzien van effectieve verwarming (CV), terwijl de kwaliteit van isolatie nog achterbleef. Zo ontstonden situaties met zeer koude wanden waar de vochtigheid lokaal heel hoog werd. Omdat een vitrine rondom een schilderij geen aantrekkelijke optie was, begon het onderzoek naar een alternatieve bescherming van schilderijen aan koude wanden. Er werd gezocht naar een adequate achterkantbescherming van beschildeerde panelen en doeken.¹⁴ Dat resulteerde in de ontwikkeling van hoogwaardige microklimaatssystemen (zie hoofdstuk 8).

Vocht bufferende materialen

Ook vonden er praktijkproeven plaats met het passief bufferen van vitrines met behulp van hygroscopische materialen. Zo werden in 1999 in de kathedrale basiliek Sint-Bavo in Haarlem kazuifels in vitrines getoond, waarbij onder in de vitrine een grote hoeveelheid watten was geplaatst (afb. 5). Uit dit soort onderzoek en praktijkervaring werd al snel duidelijk dat met vocht bufferende materialen het klimaat in een vitrine kon worden gestabiliseerd, mits de vitrine voldoende luchtdicht was. Zo ontstond een zoektocht naar meer effectieve buffers. Die werden gevonden in silica gel en



Afbeelding 5. De vitrine in de kathedrale basiliek Sint-Bavo in Haarlem in 2003. Onder in de vitrine werd de holle ruimte gevuld met watten. Via de gaten in de bodemplaat zou vocht uitgewisseld kunnen worden (foto: Bart Ankersmit).

aanverwante materialen. De relatieve luchtvochtigheid in de vitrine is met deze buffers stabielier dan die in de omringende ruimte en kan desgewenst ook op een andere waarde worden gehandhaafd.

Naast het gebruik van passieve buffers voor het handhaven van een bepaalde relatieve luchtvochtigheid, kwamen vanaf begin 2000 ook actieve systemen op de markt, zoals een 'solid polymer'-membraan en een op perslucht werkende membraandroger. Met dat systeem kon weliswaar een bepaalde relatieve luchtvochtigheid worden gerealiseerd, maar het bleek in de praktijk te complex en kwetsbaar om in musea te gebruiken. Beïnvloeding van de relatieve luchtvochtigheid bleek eenvoudiger dan het reguleren van een bepaalde temperatuur. Vooral koeling bleek een grote uitdaging.

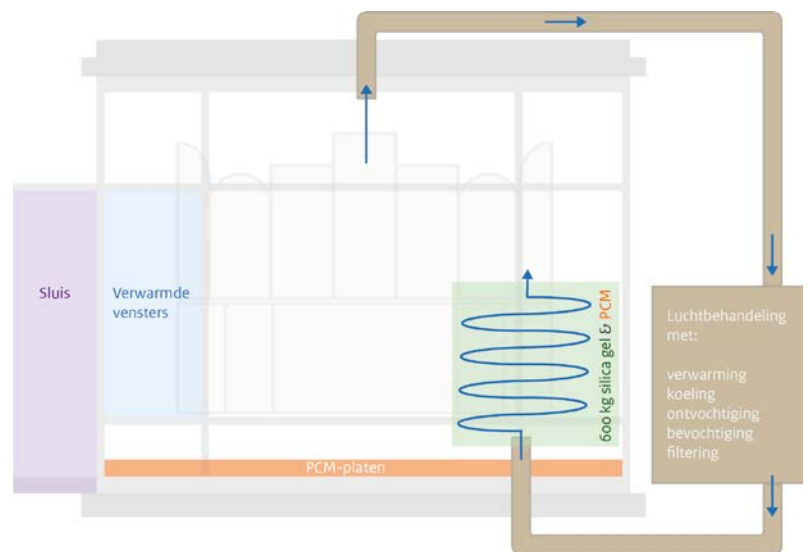
Tegenwoordig is er veel aandacht voor vitrines waarmee (zeer) kwetsbare objecten getoond kunnen worden op plekken die daarvoor misschien niet het meest geschikt lijken te zijn, maar wel een sterke verbinding hebben met de voorwerpen. Zo kan het 15^{de}-eeuwse Vlaamse topstuk *De aanbidding van het Lam Gods*, geschilderd door de broers Hubert en Jan van Eyck, alleen verantwoord in de Sint-Baafskathedraal in Gent worden tentoongesteld met behulp van een bijzonder geavanceerde vitrine. Om de kwetsbare panelen te beschermen tegen de koude en vochtige lucht in de kathedraal is gekozen voor volledige klimaatbeheersing, passieve vocht- en temperatuurbuffering en verwarmd glas (afb. 6). Het verwarmde glas voorkomt condensatie van de geconditioneerde lucht aan de binnenzijde wanneer het 's winters koud is in de kathedraal.

¹³ Een test waarbij het te testen materiaal in een buisje met wat vocht en een stukje lood en/of zilver en/of staal gedurende 30 dagen bij 40°C wordt verouderd. Thickett D. and L.R. Lee, 'Selection of materials for the storage and display of museum objects', *The British Museum Occasional Paper*, Number 111 (1996).

¹⁴ Hummelen J., 'Back protection for canvas paintings. The RH response of backboard protected canvas paintings: the effect of wooden stretcher', Instituut Collectie Nederland, Onderzoeksdossier 1996-009 (1996).

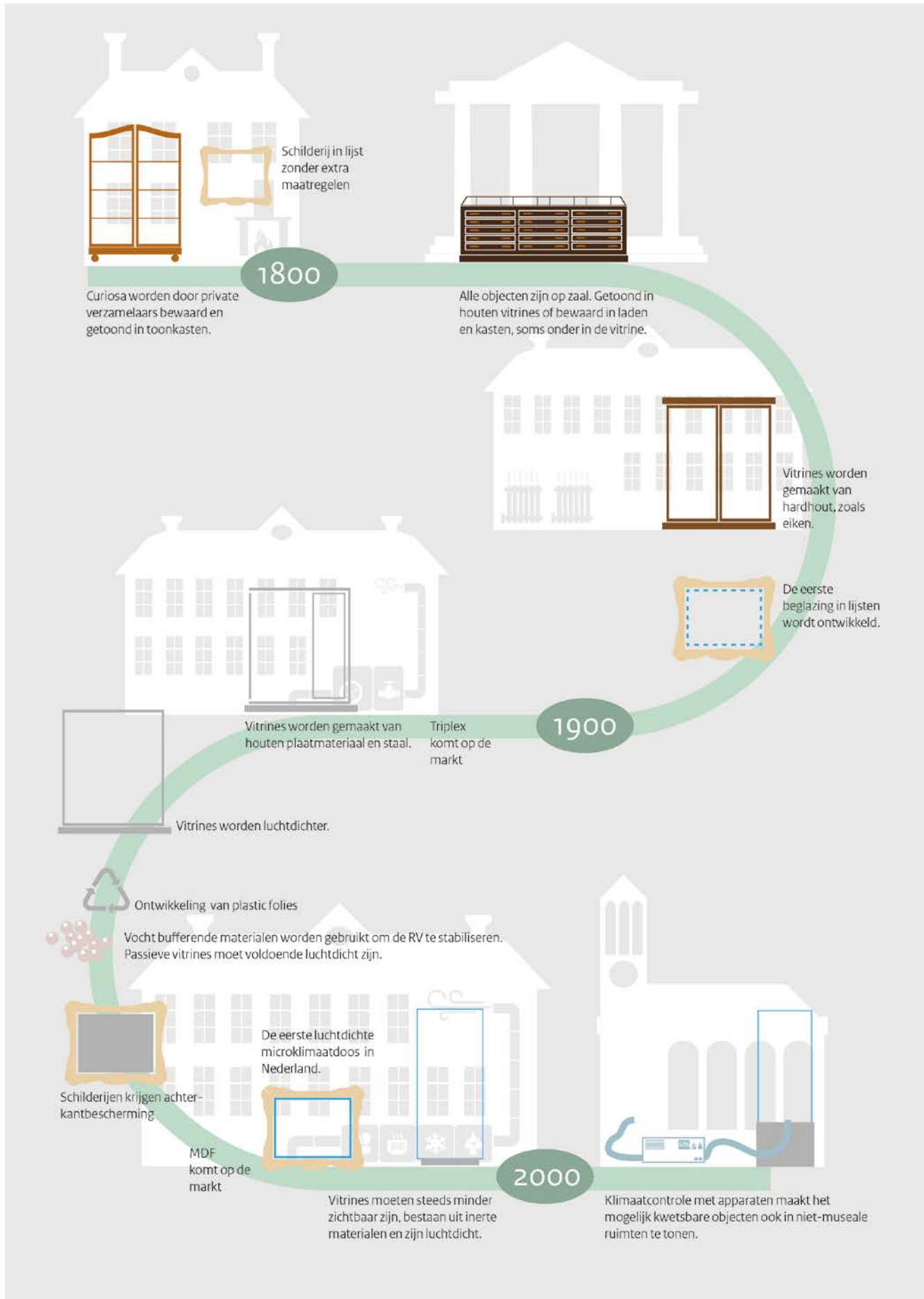
In de nabije toekomst zullen vitrines waarschijnlijk ook een grote rol gaan spelen in de verduurzaming van erfgoedinstellingen. Als het energieverbruik wordt teruggedrongen en de klimaatspecificaties veranderen, zullen

er meer waardevolle en kwetsbare objecten in hoogwaardige vitrines komen. Die transitie zal eveneens gepaard gaan met nieuwe technologische ontwikkelingen.



Afbeelding 6. Links: de vitrine in de onverwarmde Sint-Baafskathedraal in Gent (foto: Cedric Verhelst). Rechts: een schematische weergave van de vitrine met de klimaatmaatregelen. Het klimaat in de kathedraal is heel ongunstig voor het langdurig behoud van het Vlaamse topstuk *De aanbidding van het Lam Gods*. Daarom wordt het object in een vitrine getoond bij $12^{\circ}\text{C} < T < 22^{\circ}\text{C}$ en $50\% < \text{RV} < 70\%$ door gebruik te maken van een set van verschillende actieve en passieve maatregelen:

- een toegangssluis om te voorkomen dat ongeconditioneerde lucht naar binnen lekt als medewerkers dagelijks binnentreden om de luiken van het altaarstuk te openen en te sluiten;
- een luchtbehandelingskast waarmee bevochtigd, ontvochtigd, verwarmd en gekoeld kan worden;
- 600 kg silica gel waarmee de luchtstroom uit de luchtbehandeling wordt gebufferd;
- een temperatuurbuffer, zogenoemde PCM-platen – phase changing materials (PCM) – op de vloer en in de behuizing van de hygrische buffer;
- verwarmd glas om condensatie aan de binnenzijde tijdens de winter te voorkomen.



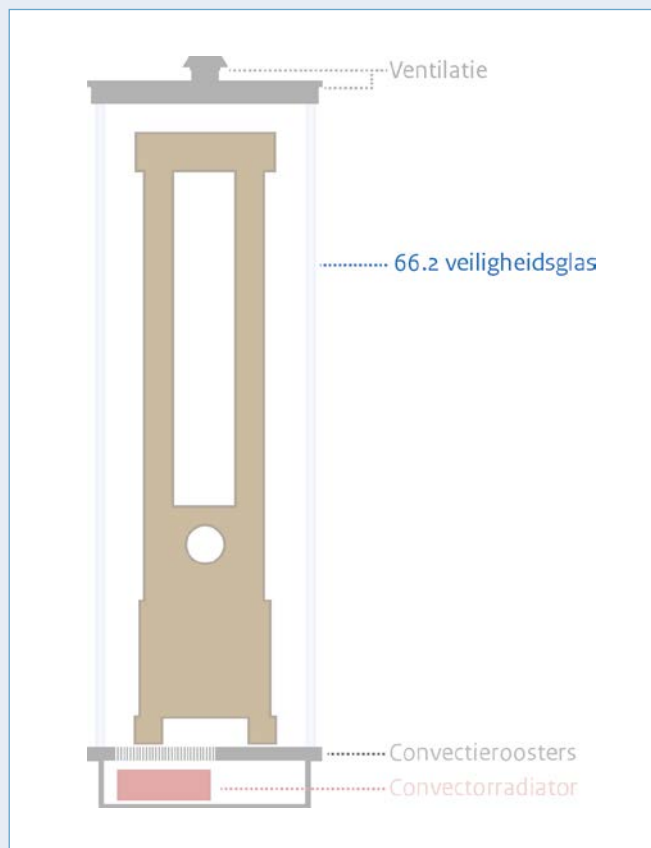
Afbeelding 7. Schematische tijdlijn voor de ontwikkeling van vitrines in Nederland.

De guillotine – van binnen naar buiten

In de opstelling van Rijksmuseum de Gevangenpoort in Den Haag stond in de cipierswoning een guillotine. Het museum wilde graag in die ruimte een nieuwe presentatie realiseren. Daarvoor moest de guillotine naar een andere locatie verhuizen, bij voorkeur naar de binnenplaats, de buitenlucht in. Op basis van een beknopte risicoanalyse zijn voor de ontwikkeling van de vitrine de volgende uitgangspunten geformuleerd:

- de guillotine mag niet blootstaan aan direct opvallend zonlicht;
- de guillotine mag niet blootstaan aan water;
- de guillotine mag niet blootstaan aan zeer hoge relatieve luchtvochtigheden;
- de guillotine mag niet blootstaan aan zeer lage relatieve luchtvochtigheden;
- de guillotine mag niet bevriezen.

Op basis van deze mini-risicoanalyse kon de vitrineleverancier een voorstel voor een vitrine maken. Een vitrine met de afmeting van 120x200x360 cm is opgebouwd met 66.2 glas (zie tabel 1) en met een draaideur. De vitrine is voorzien van een convectroradiator, aangestuurd door een thermostaat die de vitrine (iets) verwarmd als de temperatuur onder het vriespunt komt. Aan de buitenzijde van de vitrine zijn kleine toegangsluiken voor onderhoudswerkzaamheden aangebracht. Het dak van de vitrine is waterdicht en voorzien van een ventilator en automatische sluitklep. Onder het dak zitten ventilatiesleuven ten behoeve van een natuurlijke ventilatie. De guillotine zelf staat op blokken.



Afbeelding 8. Links: een schematische dwarsdoorsnede van de vitrine voor de guillotine van Rijksmuseum de Gevangenpoort. Rechts: de opbouw van de vitrine op de binnenplaats van het museum (foto: Sara van Doorn).



Kwetsbare objecten kunnen ook in een niet-geklimateerde ruimte worden getoond. Hier een actief geklimateerde vitrine in de Basiliek Sint-Servaas in Maastricht.

3 Constructiematerialen – (plexi)glas, hout, metaal en verf

In dit hoofdstuk komen verschillende constructiematerialen aan bod die voor vitrines worden gebruikt. Praktische achtergrondinformatie die in het gesprek met een vitrineleverancier helpt om samen de eisen voor de specifieke situatie uit te werken.

Glas

Voor de beglazing van een vitrine (en microklimaatdoos) zijn verschillende soorten glas en plexiglas beschikbaar. Hier wordt kort ingegaan op de verschillende soorten glas.

Vlakglas, monolithisch glas en eenlaagsglas worden zelden gebruikt voor museumvitrines. Als dat breekt dan ontstaan grote scherpe scherven die een gevaar vormen voor mens en object. Monolithisch glas heeft daarbij bovendien een heel lage weerstand tegen braak en tegen UV-straling. Voor veel toepassingen is dit glas dan ook een halffabricaat en wordt het extra behandeld om het betere toepassingsmogelijkheden te geven.

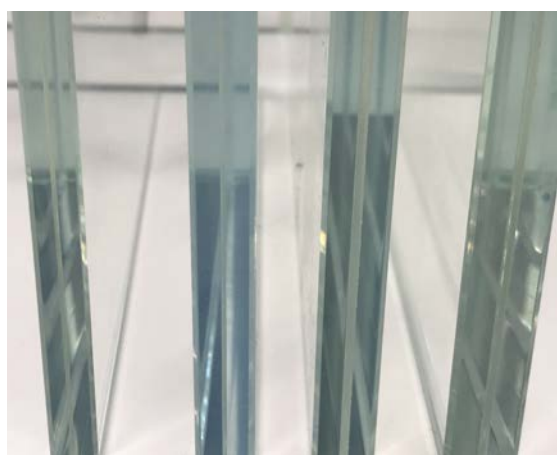
Door glas een warmtebehandeling te geven en het heel snel te laten afkoelen, wordt het gehard glas. Dit glas is sterk, duurzaam en schok- en krasbestendig. Het is ongeveer vier- tot vijfmaal sterker dan niet-gehard glas van dezelfde grootte en dikte. Als gehard glas toch breekt, breekt het meestal niet in scherven met scherpe randen, maar in kleine, afgeronde stukjes.

Glas kan ook 'witter' worden gemaakt, dan wordt Extra White (EW) glas gekregen. Dit glas wordt feitelijk niet witter, maar transparanter gemaakt door de verlaging van het ijzergehalte. Het heeft als voordeel dat het de lichtgroene tint die in regulier glas wordt waargenomen niet heeft. Dit glas is extra helder, hierdoor zal het zelfs bij grote dikte uiterst transparant zijn.

Slagvast en kogelwerend

Gelaagd veiligheidsglas krijg je door tussen glasplaten een folie aan te brengen, vaak is dat PVB (polyvinylbutyral). De PVB-laag heeft een dikte van 0,375 mm. Door tussen twee glasplaten, twee, drie of vier lagen PVB aan te brengen, ontstaat een laminaat van glas/PVB/glas (afb. 9). De dikte van het glas kan worden gekozen al naar gelang de toepassing. Een gevolg van lamineren is dat de glasplaat heel slagvast wordt. Voor laminaatglas met bijzonder hoge eisen kan dikker glas worden gekozen, een andere folie, of kan een laag plexiglas worden gebruikt. Op die manier wordt het glas bijzonder slagvast en zelfs kogelwerend (zie hoofdstuk 4). Een bijkomend voordeel van dit gelaagde glas is dat het UV-werend is; een nadeel is het hoge gewicht.

Typische combinaties van lagen en glasdikten worden gegeven in tabel 1.



Afbeelding 9. Vier typen gelamineerd glas. Van links naar rechts: type 44.2, 55.2, 55.4 en 66.4 (foto: Peter Vereecken).

Tabel 1. Enkele glastypen die vaak toegepast worden in vitrines.

Naam	Glasdikte	Aantal lagen PVB (dikte= 0,375 mm)	Totale dikte (mm)	Gewicht (kg/m ²)
33.2*	2 x 3 mm	2	3 + (2 x 0,375) + 3 = 6,75	16
44.2	2 x 4 mm	2	4 + (2 x 0,375) + 4 = 8,75	21
44.4	2 x 4 mm	4	4 + (4 x 0,375) + 4 = 9,5	21
55.2	2 x 5 mm	2	5 + (2 x 0,375) + 5 = 10,75	22
55.4	2 x 5 mm	4	5 + (4 x 0,375) + 5 = 11,5	22
66.2	2 x 6 mm	2	6 + (2 x 0,375) + 6 = 12,75	30
66.4	2 x 6 mm	4	6 + (4 x 0,375) + 6 = 13,5	30

*Dit type wordt zelden gebruikt.

Zonder reflecties

Omdat gewoon glas reflecteert en soms leidt tot ongewenste schitteringen is er ook niet-reflecterend glas ontwikkeld – ook wel anti-reflecterend glas genoemd. Dit type glas is aan de buitenzijde voorzien van een dunne coating die ervoor zorgt dat het licht door het glas valt en niet weerkaatst wordt. Normaal glas laat ongeveer 91% van het licht door, waarbij ongeveer 8% van het licht gereflecteerd wordt. Het anti-reflecterende glas heeft een reflectie van slechts 1 of 2%. Hierdoor zijn objecten die achter het glas getoond worden beter zichtbaar.



Afbeelding 10. Plexiglas/acryl absorbeert UV-straling, als gevolg daarvan verkleurt het na verloop van tijd (foto: Bart Ankersmit).

Plexiglas

Naast glas kan de keuze ook vallen op plexiglas (acryl). Deze kunststof die sinds 1933 commercieel verkrijgbaar is, bestaat uit polymethylmethacrylaat (PMMA). Het heeft ten opzichte van glas verschillende voor- en nadelen (zie tabel 2).

Andere materialen

Behalve transparante platen zijn er vaak ook andere materialen in de vitrine aanwezig. Vaak vormen die de grootste uitdaging als het gaat om het voorkomen van het risico op uitwaseming van schadelijke gassen. Denk aan de verlijmde plaatmaterialen die gebruikt worden voor de basis, of de lijmen, kits en rubbers voor verbindingen.

Hout

Hout is makkelijk verkrijgbaar, goedkoop en eenvoudig te verwerken. Hout is in verschillende vormen beschikbaar; massief, verlijmde platen of verlijmde vezel. Houtsoorten die geschikt zijn voor de constructie van meubels zijn onder andere eiken, mahonie, berken, beuken en essen. De verlijmde platen zijn triplex en multiplex. Berken of populier wordt in dunne lagen verlijmd met ureumformaldehydelijm of fenolformaldehydelijm. De vezelplaten zijn gemaakt van naald- en/of loofbomen en verlijmd met ureumformaldehydelijm.

Voor de verlijmde houten panelen hebben als groot nadeel dat ze formaldehyde, azijnzuur en andere schadelijke organische componenten (VOC's genoemd) uitstoten. Voor collecties die niet gevoelig zijn voor die gassen vormt de uitwaseming nauwelijks een risico, maar voor gevoelige materialen zoals lood, koper en

Tabel 2. De voor- en nadelen van plexiglas (acryl) ten opzichte van glas.

	Voordelen	Nadelen
Glas	Lange levensduur Hoge sterkte Grote maten beschikbaar Gelamineerd geeft hoge bescherming (tegen UV en diefstal) Betere scharnieropties	Hoge kosten Hoog gewicht Lange levertijd
Plexiglas (acryl)	Relatief goedkoop Snel leverbaar Makkelijk te vervangen Goede hechttechnieken (vijfzijdige kappen) Absorbeert UV-straling	Korte levensduur Kwetsbaar voor krassen (korte levensduur) Kan weekmakers bevatten Beperkte openingstechnieken Beperkte maatvoering Vergeelt door UV-straling, kan wit, melkachtig worden Het is elektrostatisch

kalkhoudende materialen zullen die gassen snel tot grote oppervlakteveranderingen leiden. Het beste is dus om dit soort materialen niet te gebruiken.

Mocht er geen alternatief zijn dan wordt aanbevolen een barrière aan te brengen om zo te voorkomen dat de organische componenten de objecten bereiken. Dat kan door een houten plaat af te dekken met een ondoordringbare laag. Zoals een folie voorzien van een aluminium laagje of een afdekkend verfsysteem met een lak op basis van epoxy of urethaan.¹⁵

Spaanplaten kunnen worden gelamineerd met een harde laag met fenol- en/of melamine-formaldehyde-bindmiddelen. Deze zogenoemde HPL-hogedruklaminaten, zoals Formica of Wilsonart, zijn betaalbare producten die uiterst duurzaam zijn. Ze zijn alleen moeilijk van kleur te veranderen of te repareren wanneer er schade optreedt. Dit type plaatmateriaal wordt vaak gebruikt als aanrechtblad of boekenplanken. De gelamineerde plaat is esthetisch afgewerkt en stoot minder vluchtige stoffen uit dan een vers aangebracht verfsysteem, maar de ondergrond (spaanplaat) kan door de ureumformaldehydehars een hoog gehalte aan formaldehyde bevatten. Bij toepassing in een vitrine mag de afdekkende laag dan ook niet doorboord worden. Een alternatief is Trespa®, een laminaat met een kern van met fenolhars samengeperste houtvezels en harde toplagen van melaminehars.

Voor vitrines die ingezet worden voor een permanente tentoonstelling die meer jaren zal staan, wordt het gebruik van vezelplaat, spaanplaat (multiplex) en MDF ten sterkste afgeraden. Omdat de inhoud van vitrines nauwelijks wisselt en de emissie van de schadelijke organische componenten jarenlang kan plaatsvinden, zal het risico op schade door chemische reacties significant zijn.

Kunststof

Tegenwoordig zijn ook kunststofplaten, zoals Corian beschikbaar. Ze zijn gemaakt van acryl- of polyesterhars, zijn heel krasbestendig en hebben een lange levensduur.

Metaal

Metaal stoot geen schadelijke componenten uit en kan vrij gebruikt worden. Voor de constructie van vitrines wordt vaak aluminium, staal of roestvaststaal gebruikt. Het verdient aanbeveling om staal te voorzien van een lak of het te poedercoaten, denk dan wel aan een emis-

sietest om te checken of ook die afwerking geschikt is voor langdurig gebruik.

Verf

Als een vitrine aan de binnenzijde voorzien is van een verflaag dan is een droogperiode noodzakelijk (vanwege ontgassing), voordat de objecten in de vitrine worden gezet. Hiervoor wordt een periode van drie weken aanbevolen. Verf op waterbasis is te prefereren boven olie verf. Op welke verf de keuze ook valt, verifieer bijvoorbeeld met een Oddy-test of die verf schadelijke gassen afgeeft.

Lijmen, kit en band

Let op bij de aansluiting van verschillende materialen, zoals glas en metaal of die een vaste of bewegende verbinding vormen. In het eerste geval worden de verbindingen verlijmd, terwijl bij bewegende delen vaak een elastisch materiaal wordt gebruikt. Er is een enorme verscheidenheid aan lijmen en kits waarmee hout, metaal en glas verlijmd en verbonden kunnen worden. Een veelgebruikt type dichting is siliconenrubber. Deze dichtingen zijn luchtdoorlatend en kunnen geen luchtdichte verbinding maken. Met Butyl, Viton en NBR-synthetisch rubber kunnen dichtingen luchtdichter worden gemaakt.

Afsluitend advies

Voor permanente of langdurige tentoonstellingen, langer dan 5 jaar, loont het om te investeren in solide en robuuste vitrines uit inert materiaal. Voor tijdelijke, kortdurende tentoonstellingen kunnen de kosten ertoe dwingen om minder streng te zijn in de keuze van materialen. Aanbevolen wordt de minder geschikte materialen zo veilig mogelijk te gebruiken. Materialen met een lage veiligheid of hoge emissie kunnen het best in alle gevallen worden vermeden.

Voor meer informatie over mogelijk geschikte materialen die met een Oddy-test zijn getest, kijk op de website Conservation Wiki.¹⁶ Bij het raadplegen van die lijst moet wel worden opgemerkt dat de samenstelling van commercieel verkrijgbare materialen kan veranderen, let daarom goed op de kolom met de test en de datum waarop die is uitgevoerd.

¹⁵ Tétreault J., 'Coatings for display and storage in museums', Canadian Conservation Institute, *Technical Bulletin* 21 (1999).

¹⁶ https://www.conservation-wiki.com/wiki/Materials_Testing_Results



Een vitrine kan geklimatiseerd worden, waardoor die klimatologisch ontkoppeld is van het omringende, ruimtelijke klimaat. Dat biedt mogelijkheden om het ruimtelijke klimaat minder streng te regelen, waardoor energie wordt bespaard (foto: Bart Ankersmit).

4 Veiligheid – bescherming tegen de mens

Het primaire doel van een vitrine is om het object af te schermen van de bezoekers. Een belangrijk aspect is dan ook de veiligheid die zo'n schil biedt tegen vandalisme en diefstal. Het benodigde beschermingsniveau van de vitrine wordt bepaald door de waarde van de objecten die erin liggen en de responsnelheid van de beveiliging in de erfgoedinstelling. Voor het risico op vandalisme gaat het minder om de waarde van de objecten, maar meer over de mate waarin ze een reactie bij het publiek oproepen. Zo zullen de manuscripten van Anne Frank een groter risico lopen op vandalisme dan documenten in een literaire setting en hebben gouden en zilveren objecten een hoger risico op diefstal dan de manuscripten van Anne Frank.

Bij het nadenken over de weerstand die een vitrine biedt tegen 'ongeoorloofde toegang' moet iedereen beseffen dat een vitrine zo sterk is als haar zwakste schakel. Het heeft geen zin om slagvast gelamineerd glas te gebruiken in een zwakke constructie. Of om hoogwaardig veiligheidsglas in een degelijke constructie aan te brengen met eenvoudig open te breken sloten. Het gaat om een evenwichtige balans van de kwaliteit van alle vitrinecomponenten, gebaseerd op een onderbouwde eis die recht doet aan het risico op diefstal of vandalisme van de tentoongestelde objecten.

Aan de ene kant moet de toegang tot de vitrine dus zoveel mogelijk bemoeilijkt worden, terwijl voor de museale bedrijfsvoering het weer belangrijk is om eenvoudig en soms ook snel toegang tot de vitrines te hebben. Het samenbrengen van de argumenten voor veiligheid en toegankelijkheid is dan ook essentieel bij het nadenken over de uitgangspunten van een vitrine.

Kogel en hakbijl

In Europa is een norm NEN-EN 356¹⁷ opgesteld – die ook in Nederland in gebruik is – waarin veiligheidsglas in verschillende categorieën is onderverdeeld. De categorieën zijn gebaseerd op een kogelvalproef en een hakbijlproef.

In de kogelvalproef vallen na elkaar drie stalen kogels met een diameter van 10 cm en een gewicht van 4,11 kg op een horizontale glasplaat van 90x110 cm van verschillende hoogten. De glasplaat doorstaat de beproeving als de kogel niet door het glas gaat. Afhankelijk van de valhoogte en het aantal pogingen is de volgende classificatie tot stand gekomen.

Tabel 3. Veiligheidsklassen voor glas gebaseerd op een valproef (bron: NEN-EN 356).

Aantal inslagen	Valhoogte	Weerstandsklasse
3 kogels in een driehoek*	1500 mm	P1A
3 kogels in een driehoek	3000 mm	P2A
3 kogels in een driehoek	6000 mm	P3A
3 kogels in een driehoek	9000 mm	P4A
3 x 3 kogels in een driehoek	9000 mm	P5A

* de punten van de driehoek liggen 130 mm uit elkaar.

In de hakbijlproef is een inbraakpoging gesimuleerd met een slagvoorwerp – een bijl. Bij deze beproeving wordt de verticaal bevestigde glasplaat van 90x110 cm bewerkt met een hamer die de botte kant van een bijl simuleert, waardoor al het glas breekt op het oppervlak waarop later de bijl inslaat. Daarna wordt er met de scherpe kant ingeslagen op het glas. De beproefde glasplaat voldoet aan de test, zolang er geen vierkante opening ontstaat met een zijde die groter is dan 400 mm. Afhankelijk van het aantal slagen met de bijl is de volgende classificatie in gebruik.

Tabel 4. Veiligheidsklassen voor glas, gebaseerd op de hakbijlproef (bron: NEN-EN 356).

Aantal slagen	Weerstandsklasse
30 tot 50	P6B
51 tot 70	P7B
Meer dan 70	P8B

Deuren

Tabel 5. Veiligheidsklassen voor deuren, gebaseerd op de tijd die een inbreker nodig heeft om de deur te kraken (bron: NEN-EN 1627:2021).

Rc-klasse	Weerstandstijd (min)	Opmerking
1	3	Basisbescherming
2	3	Gebruik van eenvoudig gereedschap
3	5	Gebruik van schroevendraaier en een breekijzer
4	10	Gebruik van slag- en zaagwerktuigen en accuboormachine
5	15	Gebruik van sabelzaag en haakse slijper (diameter max. 125 mm)
6	20	Gebruik van haakse slijper (diameter max. 250 mm)

¹⁷ De NEN-EN 356 'Glas in gebouwen – Beveiligingsbeglazing – Beproeving en classificatie van de weerstand tegen manuele aanval'. https://www.bouwendnederland.nl/media/10112/410-nen-en-356_versie-1_juli-2019.pdf

Voor deuren is een classificatie opgesteld¹⁸, op basis van de tijd die een inbreker nodig heeft om de deur te kraken (zie tabel 5).

Sloten en scharnieren

Omdat glas slechts een van de componenten van een vitrine is, zijn er ook veiligheidsklassen opgesteld voor de sloten, de scharnieren en het frame. Ze zijn opgesteld naar Europese normen.¹⁹

Voor sloten worden vier klassen onderscheiden²⁰, gekoppeld aan het type inbraak. Het advies is om daar waar mogelijk de sloten zo weg te werken dat ze niet zichtbaar zijn voor bezoekers.

Tabel 6. Veiligheidsklassen voor sloten (bron: NEN-EN 1906:2012).

Klasse	Inbraakwerendheid
1	Licht
2	Matig
3	Hoog
4	Zeer hoog

Tabel 7. Weerstandsklassen voor vitrines (bron: EN 1627-1630).

Type dief	Algemene omschrijving	Sloten, deuren en glas	Weerstandsklasse
Gelegenheidsdief	Biedt geen bescherming tegen het gebruik van (lichte) gereedschappen. Aan het glas zijn geen eisen gesteld.	Sloten: klasse 1 Deuren: RC1 Glas: geen	RC1
Incidentele inbreker	Biedt weerstand tegen het gebruik van lichte gereedschappen, zoals een schroevendraaier, tang en kleine handzagen.	Sloten: klasse 2 Deuren: RC2 Glas: P4A	RC2
Kleine crimineel	Biedt weerstand tegen het gebruik van een koevoet, kleine hamer en een kleine boormachine.	Sloten: klasse 3 Deuren: RC3 Glas: P5A	RC3
Ervaren crimineel	Biedt weerstand tegen het gebruik van een zware hamer, bijl, beitels en een boormachine.	Sloten: klasse 4 Deuren: RC4 Glas: P6B	RC4
Georganiseerde misdaad	Biedt weerstand tegen het gebruik van elektrische apparaten, zoals een haakse slijper met een blad van max. 125 mm en een reciprozaag,	Sloten: klasse 4 Deuren: RC5 Glas: P7B	RC5
Terrorist	Biedt weerstand tegen het gebruik van een sloop- en voorhamer, zware elektrische apparaten, zoals een boormachine, zagen en een haakse slijper met een blad van max. 230 mm.	Sloten: klasse 4 Deuren: RC6 Glas: P8B	RC6

De geschikte weerstandsklasse per type dief wordt gegeven in tabel 7.

Naast de keuze voor een combinatie van glas, sloten en constructie waarmee een specifiek beveiligingsniveau wordt gerealiseerd, kan er ook gekozen worden voor een vitrine die is voorzien van detectie, waardoor trillingen en glasbreuk worden gesignaleerd. Er zijn verschillende typen detectie verkrijgbaar. De effectiviteit van de detectiemiddelen die worden ingezet hangt af van de snelheid waarmee op een alarm wordt gereageerd. Hoe korter de responstijd van het beveiligingspersoneel in het gebouw, des te lager het risico op diefstal.

Afsluitend advies

Afhankelijk van de snelheid waarmee ongeoorloofde toegang tot de vitrine wordt gesignaleerd, de snelheid waarmee wordt gereageerd en de inschatting van het risico op een bepaalde type diefstal zal een specifieke combinatie van glas, constructie, sloten en detectie worden gekozen.

¹⁸ NEN-EN 1627:2021 Deuren, ramen, vliesgevels, traliehekken en luiken – Inbraakwerendheid – Eisen en classificatie

¹⁹ NEN-EN 1627:2021 Deuren, ramen, vliesgevels, traliehekken en luiken – Inbraakwerendheid – Eisen en classificatie. NEN-EN 1629:2021 Deuren, ramen, vliesgevels, traliehekken en luiken – Inbraakwerendheid – Beproevingmethode voor de bepaling van de weerstand tegen dynamische belasting. NEN-EN 1630:2021 Deuren, ramen, vliesgevels, traliehekken en luiken – Inbraakwerendheid – Beproevingmethoden voor de bepaling van de weerstand tegen manuele inbraakpogingen.

²⁰ NEN-EN 1906:2012 Hang- en sluitwerk – Deurklinken en -knoppen – Eisen en beproevingmethoden.

Duidelijk is dat in een situatie waarin een zaalwacht permanent toezicht houdt het beschermingsniveau (iets) lager kan zijn dan in een volledig onbeschermd en niet-gemonitorde omgeving. Zo zullen de bruikleeneisen voor veiligheid in veel niet-museale omgevingen, zoals kantoren en stadhuizen, waarschijnlijk strenger zijn dan voor hetzelfde bruikleen aan een museum met een hoogwaardige beveiliging.

Delftsche slaolie – een niet-museale bruikleen

In 2020 is aan Stichting Museum van Marken het Paviljoen van Delftsche Nijverheid uit 1900 geschonken. Dat paviljoen had tot doel de producten van de ‘Delftsche nijverheid’ op tentoonstellingen en landbouwbeurzen door het hele land onder brede aandacht te brengen. De constructie bestond uit diverse beschilderde panelen in art-nouveaustijl, ook wel slaoliestijl genoemd – naar de producten die werden geadverteerd – en kon volledig worden gedemonteerd.

Nadat de panelen vele jaren vergeten in een plantenkas lagen, zijn er 40 teruggevonden en aan het museum geschonken. Met donaties van onder andere DSM Delft heeft het museum twee doeken van 3,40 meter hoog en 0,75 meter breed kunnen laten restaureren met als doel het publiek opnieuw te laten kennismaken met deze objecten en het verhaal erachter. De doeken zijn schoon-gemaakt en op nieuwe aluminium spieramen gespannen.

Voor het langdurig in bruikleen geven van de twee objecten aan DSM Delft was het museum gedwongen na te denken over het plaatsen van de werken in een niet-museale omgeving op de DSM Biotech Campus (afb. 11).

Robuust en passief

Op basis van een beknopte risicoanalyse zijn de risico's in kaart gebracht en de volgende maatregelen ontwikkeld. Permanent toezicht ontbreekt en de gebruikers van de ruimte zijn zich minder bewust van de culturele waarde van voorwerpen. De campus ligt in de Randstad (met hoge concentraties fijnstof) en de ruimte wordt in de winter verwarmd, waardoor de relatieve luchtvochtigheid zal dalen. De objecten zijn niet bijzonder lichtgevoelig, maar moeten niet in direct zonlicht worden gehangen. Er werd daarom gekozen voor een robuuste en passieve bescherming.

Met de vitrineleverancier zijn bovenstaande wensen uitgewerkt tot een aluminium vitrine voorzien van 44.2 glas (zie tabel 1) met een zeer klein intern volume van 0,42 m³. Achter het doek is een ruimte ingebouwd voor een vochtbuffer (in dit geval type ProSorb[®]) en wordt het klimaat geregistreerd. Op deze manier kunnen de twee doeken veilig op de campus tentoongesteld worden.



Afbeelding 11. Twee van de 34 grote panelen in beschermende vitrines op de DSM Biotech Campus in Delft (foto: Marcel van Dien).



Bezoekers in het Rijksmuseum in 1976 (foto: Rijksmuseum).

5 Luchtdichtheid – bescherming tegen de omgeving

Over het algemeen is het doel van een vitrine om het object te beschermen tegen invloeden vanbuitenaf. Daarom wordt vaak voor een gesloten systeem gekozen. Er moet zo min mogelijk lucht worden uitgewisseld tussen vitrine en tentoonstellingszaal. Maar een vitrine of microklimaatdoos is nooit volledig luchtdicht. Er zal bijna altijd sprake zijn van een beetje luchtuitwisseling met de omgeving buiten de vitrine. Om te begrijpen wat een vitrine luchtdicht maakt en welke omgevingsfactoren daarin van belang zijn, is het belangrijk enige kennis te hebben van de natuurkundige achtergronden van luchttransport.

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de luchtdichtheid van een vitrine kan worden ingeschat met een visuele inspectie, en welke fysische mechanismen verantwoordelijk zijn voor de manier waarop lucht zich verplaatst. De luchtverplaatsing kan op drie verschillende manieren plaatsvinden: door diffusie, infiltratie en permeatie. Ze worden alle drie kort toegelicht in dit hoofdstuk, gevolgd door meer gedetailleerde informatie over het voorspellen van het infiltratievoud – dat is het aantal keer per tijdseenheid (uur of dag) dat het gehele volume van een vitrine door verse lucht wordt vervangen.

Opsporen van gaten en kieren

Met een visuele inspectie kan redelijk eenvoudig een eerste beoordeling van de aanwezigheid van kieren en/of gaten worden gemaakt. Schijn met een zaklamp van binnen naar buiten, dan vallen de meeste kieren al gauw op. Door een vel papier en/of een (bank)pasje in een kier te steken, is een redelijk nauwkeurige schatting van de breedte van de kieren mogelijk. Een standaardvel printerpapier is 70 tot 100 μm dik. Hiermee kunnen openingen van 100 μm of groter worden bepaald. Door gebruik te maken van meer vellen papier kunnen ook andere breedten worden opgemeten.

Als in de vitrine (dode) insecten liggen dan is het aannemelijk dat ergens in de vitrine een kier aanwezig is die groter is dan 330 μm – ervan uitgaande dat het insect niet is meegekomen met een object dat in de vitrine werd geplaatst. Met een (bank)pasje (afb. 12) kunnen de afmetingen vanaf 760 μm worden vastgesteld. Als de breedte van de kieren bekend is, dan kan met behulp van afbeelding 16 een schatting gemaakt worden van het infiltratievoud.

Bij de inspectie van een vitrine en de zoektocht naar kieren is het advies vooral goed te letten op:



Afbeelding 12. Als een plastic (bank)pasje zonder veel druk tussen twee glasplaten geschoven kan worden, zal de spleet minimaal 760 μm zijn (foto: Bart Ankersmit).

- aansluitingen van gekoppelde oppervlakken, zoals glaspanelen, deuren en structurele elementen;
- entreepunten, zoals de sluiting van het absorptiemiddelcompartiment;
- pakkingen en afdichtmiddelen rondom glas;
- de doorvoering voor bekabeling, bijvoorbeeld ten behoeve van interne verlichting;
- sleutelgaten;
- lasnaden.

Niet alleen de collecties in de vitrine, maar ook de vitrine zelf is aan verval onderhevig. Grote vlakken, zoals glas- en/of staalplaten kunnen (licht) vervormen. Hoge verticale glasplaten zakken naarmate de tijd vordert iets uit en vormen dan een kier in het midden. Die vervormingen worden steeds groter en leiden dan tot een steeds lekker wordende vitrine. Onregelmatigheden in het materiaal kunnen vervormingen versterken. Als luchtdichtheid belangrijk is, wordt aanbevolen om zo nu en dan een steekproef te doen om te kijken of aansluitingen kieren vertonen, elastische afsluitingen hard en bros zijn geworden en of (glas)platen wat uitgezakt zijn. Zie ook hoofdstuk 7 voor tips over onderhoud en reparatie.

Drie transportmechanismen – diffusie, infiltratie en permeatie

Er zijn verschillende manieren waarop lucht in een gesloten ruimte, bijvoorbeeld een vitrine, kan worden uitgewisseld met de lucht daarbuiten (afb. 13):

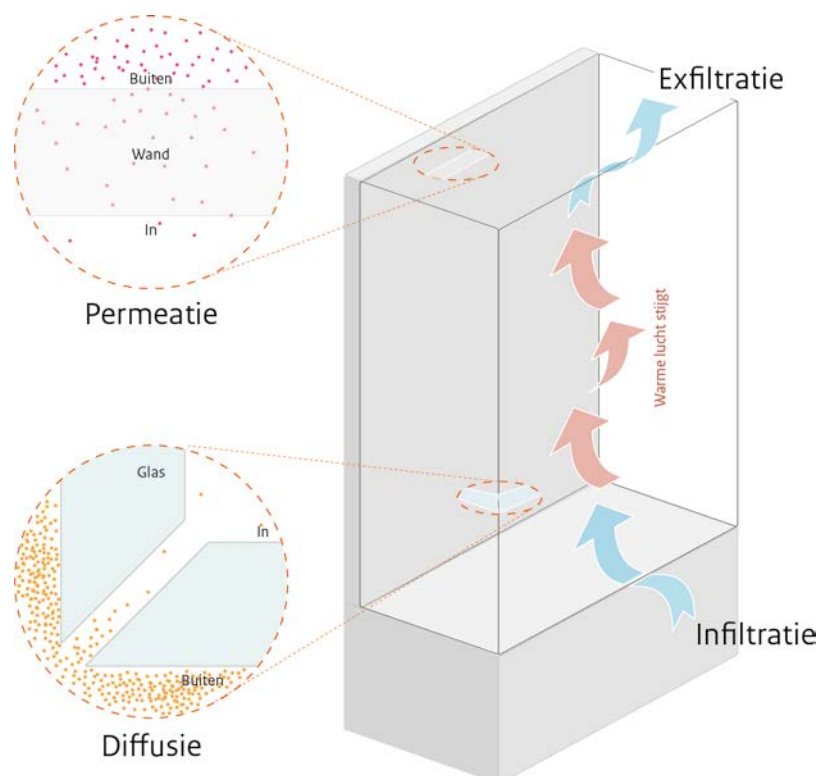
- diffusie in stilstaande lucht;
- in- en exfiltratie door transport van de lucht;
- permeatie door materialen.

Diffusie in lucht

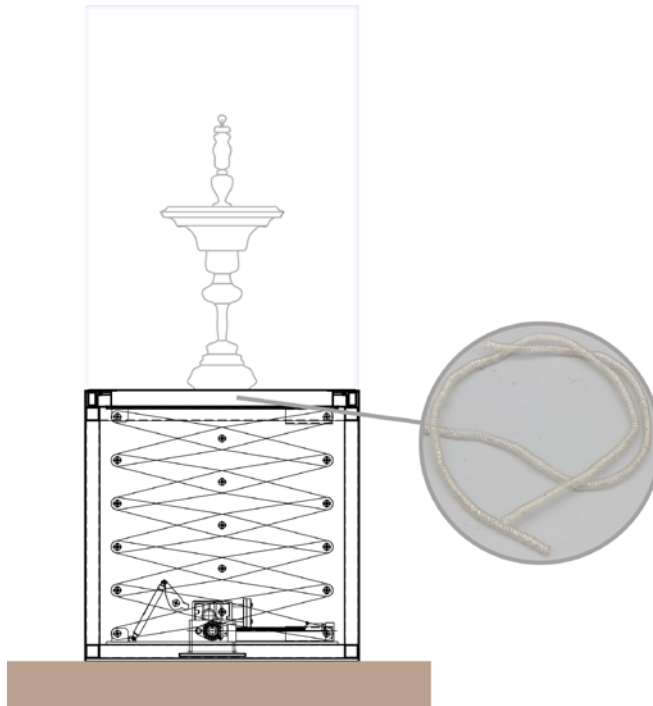
Diffusie is het mengen van gassen door willekeurige bewegingen van de moleculen in de lucht. De diffusiecoëfficiënt van een bepaald gas is een fysische constante die afhankelijk is van de molecuulgrootte, temperatuur en druk.

De bewegingen van moleculen hebben geen voorkeursrichting en vinden ook plaats in stilstaande lucht. Dit proces, dat leidt tot het transport van gasmoleculen naar een vitrine én de vitrine in of uit, is afhankelijk van verschillende factoren.

- Het verschil in concentratie, of gradiënt, van het betreffende gas (bijvoorbeeld zuurstof, of waterdamp) tussen binnen en buiten de vitrine. Dit verschil wordt het partiële drukverschil genoemd. Hoe groter het partiële drukverschil is, des te meer gas er wordt getransporteerd. Die verplaatsing gaat altijd van een hoge naar een lage concentratie.
- De oppervlakte van het totaal aantal gaten en kieren in de vitrinewand speelt ook een rol. Grote gaten (en lange, brede kieren) in een vitrine zorgen voor meer gastransport.
- Lucht beweegt niet nabij een oppervlak. Ook net naast de glasplaten van de vitrine staat de lucht stil. De dikte van deze stilstaande luchtlaag rondom de vitrinewanden wordt geschat op 1 cm. Dat heeft tot gevolg dat in die luchtlaag alleen diffusie een rol speelt. Daarbuiten beweegt de lucht en is er vaak sprake van turbulentie.
- De temperatuur. Bij een hogere temperatuur bewegen moleculen in de lucht sneller dan bij een lage temperatuur en zal menging door diffusie bij een hogere temperatuur dan ook (iets) sneller zijn. De vermenging van twee gassen zal daardoor in de winter iets langzamer verlopen dan in de zomer.
- De diffusiecoëfficiënt van het betreffende gas. In tabel 8 is voor enkele relevante gassen de diffusieconstante gegeven.



Afbeelding 13. Een schematisch overzicht van de drie typen luchttransport in en uit een vitrine.



Afbeelding 14. Het zilveren tafelstuk van Wezel Jamnitzer uit 1549 wordt permanent getoond in de vaste tentoonstelling van het Rijksmuseum (links). Het object is rijk versierd met veel details waardoor het moeilijk te reinigen is. Het voorkomen van aanloop is dan ook een prioriteit van het Rijksmuseum. Om ervoor te zorgen dat zwavelhoudende gassen het tafelstuk niet kunnen bereiken, is onder het object zilverdraad aangebracht (rechts). Zwavelhoudende gassen die via het voetstuk de vitrine in lekken, worden door de zilverdraad afgevangen (foto: Bart Ankersmit).

Tabel 8. Diffusiecoëfficiënten van verschillende gassen.

Gas	Diffusiecoëfficiënt (cm ² /s)
Zuurstof (O ₂)	0,2
Koolstofdioxide (CO ₂)	0,21
Waterdamp (H ₂ O)	0,24
Azijnzuur (CH ₃ COOH)	0,11

Het mengen van gassen door diffusie gaat redelijk snel. Denk maar aan de snelheid waarmee bepaalde luchtjes zich in huis verspreiden.

In- en exfiltratie

Dat is het proces waarbij lucht de vitrine wordt in- of uitgepompt onder invloed van in de atmosfeer voorkomende drukverschillen. Er zijn 4 verschillende processen:

- Grote barometrische drukverschillen treden op als gevolg van weersveranderingen, dat wordt ook wel barometrisch pompen genoemd. De luchtdruk van de buitenlucht varieert van plaats tot plaats en ligt bij het aardoppervlak meestal tussen 940 tot 1060 hPa
- (0,94-1,06 bar). Verschil in luchtdruk ontstaat door een verschil in temperatuur. Warme lucht heeft een lagere dichtheid en daarmee een lagere druk. De luchtdruk kan in een relatief korte tijdspanne – enkele uren – significant veranderen. Kleine, snelle drukveranderingen treden al op in gebouwen door windstoten, open deuren en fluctuaties als gevolg van verwarming.
- Temperatuurveranderingen in de vitrine, zoals dag- en nachtschommelingen die een gevolg zijn van bijvoorbeeld verlichting en bezoekers, zorgen net als bij barometrische drukverschillen voor luchttransport. Zo wordt in vitrines met bijvoorbeeld warmte ontwikkelende verlichting, zoals hallogeen, de lucht continu met de zaal uitgewisseld. In de ochtend als de verlichting aangaat, neemt de temperatuur toe en daarmee de druk af en stroomt de vitrine als het ware vol. Als in de avond de verlichting uitgaat, neemt de temperatuur af en daarmee de druk toe en stroomt de vitrine weer leeg.
- Luchtbewegingen rondom een vitrine. Als lucht rondom een vitrine stroomt, ontstaan (kleine) drukverschillen, aan de kant waar de luchtstroom vandaan komt, zal de druk iets hoger zijn, terwijl aan luwe zijde van de vitrine de druk iets lager is. Als gevolg van dat drukverschil zal er ook lucht door de vitrine gaan



Afbeelding 15. Een tafelvitrine zal door de beperkte hoogte van de glaskap veel minder worden blootgesteld aan het zogenoemde pijp-effect waarbij warme lucht stijgt. Omdat deze vitrine een verlijmd kapconstructie heeft, zijn er geen openingen aan de bovenzijde en wordt het pijp-effect tenietgedaan. Als gevolg van de beperkte hoogte en de verlijmd kap is de vitrine van nature stabiel (foto: Bart Ankersmit).

stromen. In gebouwen stroomt de lucht als gevolg van de wind buiten en onder invloed van klimaatinstallaties. Omdat mensen last hebben van tocht, worden eisen gesteld aan de snelheid van de binnenlucht.²¹

- Warme lucht stijgt en koude lucht zakt, dat wordt het pijp-effect genoemd. Ook in vitrines speelt het een rol. Temperatuur- en in iets mindere mate relatieve luchtvochtigheidschommelingen veroorzaken convectie. De mate waarin de lucht gaat stromen, hangt af van de hoogte van de vitrine. Hoe hoger de vitrine, des te langer de warme lucht kan stijgen of koelere lucht kan zakken.²² Dus voor objecten met een beperkte hoogte die een stabiel klimaat vereisen, is het slim om voor een lage vitrine te kiezen (afb. 15).

Permeatie

Permeatie is het proces waarbij moleculen door een vast materiaal heen gaan. Glas en metaal zijn niet doorlaatbaar (permeabel), maar hout, kit, rubbers en plastic films laten wel in zekere mate moleculen door. Denk maar aan een ballon die in de tijd steeds slapper wordt of een frisdrankfles die na verloop van tijd instulpt doordat de CO₂ eruit gepermeëerd is.

Deze doorlaatbaarheid wordt uitgedrukt in een bepaalde hoeveelheid gas/damp die in een bepaalde tijd door een bepaald oppervlak zal gaan, met een bepaald partieel drukverschil. Dit transport gaat over het algemeen heel langzaam en is ten opzichte van de andere twee mechanismen vaak te verwaarlozen.

²¹ De maximaal aanvaardbare tocht in musea is ongeveer $-0,25 \text{ m.s}^{-1}$, wat overeenkomt met een druk van $0,04 \text{ Pa}$ ($0,0004 \text{ mBar}$). Geforceerde luchtuitlaten van klimaatinstallaties leveren luchtsnelheden in de orde van grootte van 1 m.s^{-1} en oefenen daarmee een druk uit van circa $0,6 \text{ Pa}$ ($0,006 \text{ mBar}$).

²² Voor een temperatuurverschil van 1°C tussen boven- en onderkant van de vitrine wordt een druk van $0,04 \text{ Pa}$ verkregen.

Een luchtdichte vitrine

Om een vitrine te maken die zo luchtdicht mogelijk is, moeten bovenstaande transportprocessen zoveel mogelijk worden voorkomen. Dat betekent dat:

- er zo min mogelijk gaten en kieren in de vitrine mogen zitten;
- de vitrine niet blootgesteld mag worden aan temperatuurschommelingen;
- de vitrine niet blootgesteld mag worden aan sterke luchtstromen;
- de vitrine zo laag mogelijk moet worden gehouden, een tafelmodel is van nature stabiel dan een staande vitrine;
- de wanden van de vitrine ondoordringbaar zijn.

Het infiltratievoud

Bij de formulering van de eisen waaraan een nieuwe vitrine moet voldoen, worden verschillende zaken zo kwantitatief mogelijk uitgedrukt. Naast de hoogte, breedte en diepte wordt ook vaak de mate van lektheid gedefinieerd. Om dat op een zinvolle wijze te kunnen

doen, is het noodzakelijk de achtergrond van deze grootte te begrijpen. Hier wordt daarom dieper ingegaan op hoe de mate van lektheid kan worden geschat en gemeten.

Luchtuitwisseling wordt uitgedrukt met het infiltratievoud n . Het infiltratievoud is het aantal keer per tijdseenheid (uur of dag) dat het gehele volume van een vitrine door verse lucht wordt vervangen. Voor vitrines met grote gaten en lange kieren kan dat oplopen tot wel 100 per dag, terwijl het infiltratievoud voor een goed afgedichte vitrine ongeveer 0,1 per dag bedraagt. In tabel 9 wordt voor verschillende kwaliteiten van de dichtingen een relatie gelegd met een geschatte ventilatievoud.

Om een inschatting te maken van het infiltratievoud van een bestaande vitrine is een rekenmodel ontwikkeld.²³ Met de kwantificering van de drie processen die uiteindelijk tot een totale infiltratievoud leiden (zie afb. 16), kan het infiltratievoud worden geschat. Deze schatting vindt plaats met behulp van een grafiek waarin aan de hand van de breedte van kieren en het aantal gaten in de vitrine met een volume van 1 m³ het infiltratievoud kan worden afgelezen.

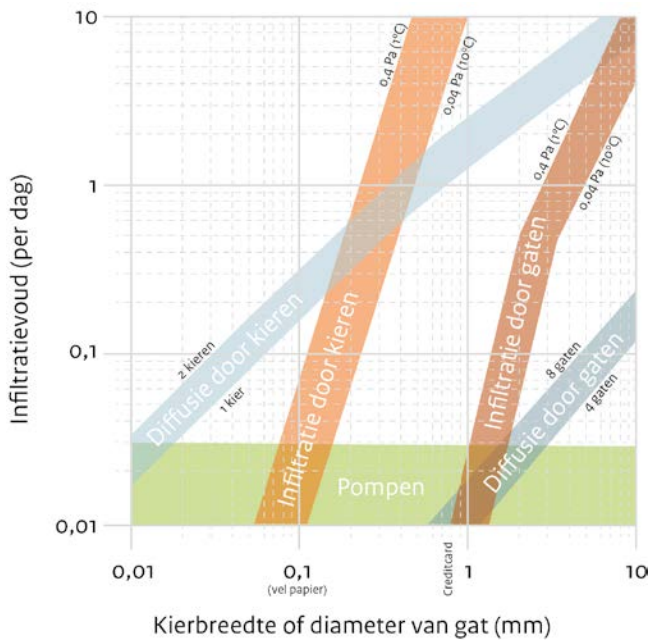
Tabel 9. De relatie tussen een algemene beschrijving van de luchtdichtheid van een vitrine en het bijbehorende infiltratievoud. De waarden en karakteristieken zijn afkomstig van de AIC-Wiki.*

Kwaliteit van de dichtingen	Karakteristieken	Geschatte infiltratievoud (per dag)
Geen dichtingen	Geen pakkingen of afdichtingen bij naden. Constructiematerialen kunnen lucht doorlaten. Vitrine kan niet zelfstandig een afzonderlijk klimaat handhaven. Geldt voor in de handel verkrijgbare, gemonteerde vitrines.	≥ 1
Gemiddelde dichtingen	Alle naden in beglazing, panelen en deuren zijn voorzien van een pakking of kit om lekkage te verminderen. Constructiematerialen kunnen lucht doorlaten. Inzetbaar als de omgeving acceptabel is voor het behoud van objecten.	≤ 1
Deugdelijke dichtingen	Ontworpen en gebouwd volgens strikte specificaties. Alle naden zijn afgedicht om luchtlekkage te voorkomen. Speciale pakkingen voor deuren. Constructiematerialen kunnen geen lucht doorlaten. Minimaal vereist voor microklimaatbeheersing.	$\leq 0,3$
Zeer goede dichtingen	Ontworpen en gebouwd volgens strikte specificaties. Alle naden zijn afgedicht om luchtlekkage te voorkomen. Constructiematerialen kunnen geen lucht doorlaten. Precisieverbindingen en afdichtingen. Vereist voor een vitrine met een hoogwaardige prestatie.	$\leq 0,1$
Hermetisch gesloten	Ontworpen om luchtlekkage te voorkomen. Constructie bevat (gas-)ondoorlatende materialen, precisieverbindingen en afdichtingen. Bevat een mechanisme/membraan om drukveranderingen op te vangen. Noodzakelijk om een inerte gasatmosfeer in de vitrine te kunnen handhaven.	$< 0,01^{**}$

* Gegevens afkomstig van de AIC-Wiki-pagina. https://www.conservation-wiki.com/wiki/Degree_of_Case_Seal:_Air_Exchange_Rates

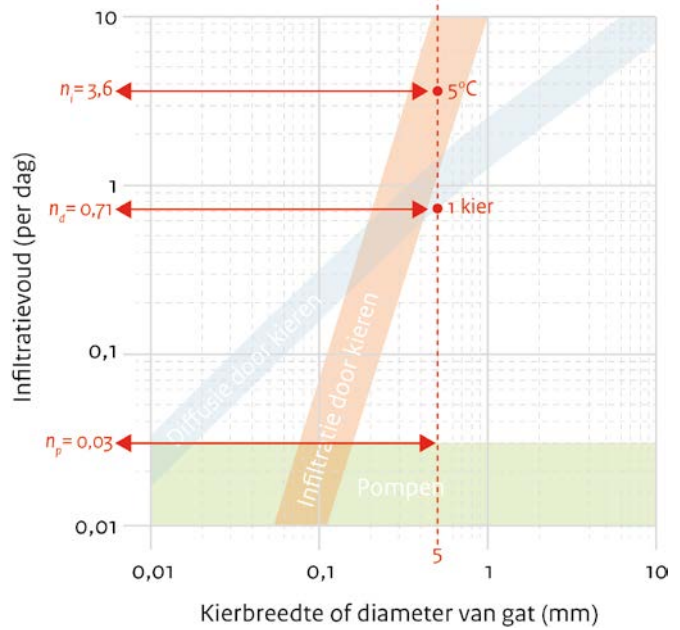
** Volledig luchtdicht is nauwelijks te bereiken. Er zal altijd een hele kleine mate van uitwisseling zijn.

²³ Michalski S., 'Leakage prediction for buildings, bags and bottles', *Studies in Conservation* 39 (1994) 139-186.



Abbeelding 16. Schatting van het infiltratievoud voor middelgrote kubusvormige vitrines (1 m³) als functie van de breedte van kieren. In de vitrine is een gat in elke hoek, met een kier aan de boven- en onderzijde, met een glaswanddikte van 5 mm. Het pompeffect van 0,04 Pa kan worden veroorzaakt door een verschil van 1°C of een verschil van 40% RH. Als er temperatuurverschillen van 10°C in de ruimte optreden is het drukverschil voor infiltratie 0,4 Pa. (overgenomen van Michalski*).

*Michalski S., 'Leakage prediction for buildings, bags and bottles', *Studies in Conservation* 39 (1994) 139-186.



Abbeelding 17: Schatting van het infiltratievoud voor middelgrote kubusvormige vitrines van 1 m³ als functie van de breedte van kieren. In dit voorbeeld heeft de vitrine 1 kier van circa 5 mm breed en zijn er verder geen openingen in de hoekpunten. Omdat de ruimte dagelijkse temperatuurfuctuaties van circa 5°C heeft, wordt de infiltratiebijdrage in het midden van de oranje balk gekozen. Als gevolg van 1 kier wordt de onderste grenswaarde voor diffusie door kieren gekozen.

Met behulp van afbeelding 15 kan voor verschillende situaties het totale infiltratievoud (n_{totaal}) van een vitrine worden berekend. Het totale infiltratievoud is het transport door kieren, gaten en materialen. Voor elk van deze wordt de bijdrage door infiltratie, diffusie en permeatie opgeteld:

$$n_{\text{totaal}} = n_{\text{kieren}} + n_{\text{gaten}} + n_{\text{materiaal}}$$

Waarin n = infiltratievoud

Omdat permeatie over het algemeen heel klein is, kan deze bijdrage aan de totale ventilatievoud vaak worden verwaarloosd. De vergelijking kan dan omgeschreven worden tot:

$$n_{\text{totaal}} = (n_i + n_d + n_p)_{\text{kieren}} + (n_i + n_d + n_p)_{\text{gaten}}$$

Waarin, i = infiltratie, d = diffusie en p = pompen.

Stel, in een vitrine van 1 m³ is langs de deur het sluitende rubber weggedrukt en is er een kier ontstaan van circa 0,5 mm. Er zijn verder geen gaten in de hoekpunten van de vitrine geconstateerd. In de ruimte varieert de temperatuur dagelijks met circa 5°C. In afbeelding 17 wordt met de rode lijn de verschillende transportmechanismen bepaald.

Zo kan worden bepaald dat het ventilatievoud met het weggedrukte rubber circa 4 keer per dag bedraagt:

$$n_{\text{totaal}} = (3,6_i + 0,71_d + 0,03_p)_{\text{kieren}} + (0)_{\text{gaten}} = 4,34$$

Uit afbeelding 15 kan ook worden afgelezen dat voor enigszins gesloten vitrines met een lage ventilatievoud infiltratie de grootste bijdrage levert aan de totale luchtuitwisseling.

Als de ventilatie van de vitrine gewenst is, bijvoorbeeld omdat de objecten in de vitrine schadelijke dampen uitwasemen, kan het infiltratieproces eenvoudig worden beïnvloed door wijdere kieren en grotere gaten. Maar als de vitrine luchtdicht moet zijn dan mogen er geen gaten of kieren in de constructie zitten en de constructiematerialen mogen niet doorlatend zijn voor het betreffende molecuul. Dat dat geen eenvoudige opgave is blijkt wel uit het voorbeeld van de zuurstofvrije vitrines voor de jurken van het Palmhoutwrak.

De zijden japon – vanuit de zee, de vitrine in

Op de rede van Texel liggen veel scheepswrakken. Uit één daarvan, die het Palmhoutwrak wordt genoemd, is een bijzondere collectie afkomstig. Behalve uit stammen van buxushout bestond de lading uit allerlei siervoorwerpen, zoals een zilveren pronkbeker, een luxe-toiletset, een Oosters tapijt, zijden japonnen en ander textiel. De intentie van de provincie was dat zoveel mogelijk van de collectie zou worden tentoongesteld.

Uit onderzoek bleek dat het extreem kwetsbare zijde alleen verantwoord getoond kon worden als die niet aan zuurstof werd blootgesteld en de relatieve luchtvochtigheid nauwelijks zou fluctueren.²⁴ Om die reden was een volledig luchtdichte zuurstofvrije vitrine essentieel. Dat bleek nog een hele uitdaging.

Alle doorvoeren moesten luchtdicht zijn, de glasplaat moest naadloos aansluiten op de stalen bak en alle lasnaden mochten zelfs geen kleine poriën hebben. Dat vroeg om veel tussenevaluaties en continue meten van de temperatuur, de relatieve luchtvochtigheid, het zuurstofgehalte en de druk om zodoende alle (kleine) lekken

in de constructie te kunnen vinden en dichten. Alleen zo kon uiteindelijk een luchtdichte vitrine worden gekregen.

Droge stikstof

Om de nagenoeg luchtdichte vitrine op de juiste relatieve luchtvochtigheid en vrij van zuurstof te houden, was besloten de vitrine aan te sluiten op een stikstofgenerator. Zo'n generator produceert een continue stroom van heel droge stikstof. Die stroom is vervolgens gesplitst in een stroom waarmee niets gebeurde en een stroom die door een waterbad werd geleid. Zo ontstaat stikstof met een relatieve luchtvochtigheid van 100%. Menging van de droge en bevochtigde stikstof geeft een stikstof met een relatieve luchtvochtigheid van 50%, waarbij deze maximaal 5% mag fluctueren.

Om risico's van vochtfluctuaties te verminderen, is in de vitrine een grote hoeveelheid silica gel aangebracht. De vitrine heeft in een continue lichte overdruk van maximaal 5 millibar, waardoor er geen stof of ongeconditioneerde lucht de vitrine in kan lekken.



Afbeelding 18. Links: om zuurstofvrije geconditioneerde lucht in de vitrine te krijgen is een techniek vereist met een waterbad, mengvat, leidingen en verschillende flowmeters en sensoren die kleppen aansturen (foto: Bart Ankersmit). Rechts: de zijden japon in de ronde zuurstofvrije vitrine (foto: Museum Kaap Skil).

²⁴ Serrano A., A. Brokerhof, B. Ankersmit, M. van Bommel, 'From the bottom of the sea to the display case. Research on archaeological maritime silk textiles for long-term preservation', *Journal of Cultural Heritage* 45 (2020) 91-100.

Metten van het infiltratievoud

Er bestaan verschillende manieren om het infiltratievoud van een vitrine, of andere gesloten volumes, te bepalen. Dat is te doen door de afname van de concentratie van een bepaald gas te meten, met akoestische metingen en met drukmetingen. In Nederland worden de laatste twee niet vaak gedaan.

De meest voorkomende manier is door gebruik te maken van zogenaamd tracergas. Dat is een gas dat van nature niet of in een heel lage concentratie voorkomt – voorbeelden zijn zwavelhexafluoride (SF_6), di-stikstofmonoxide, ook wel lachgas genoemd (N_2O), en koolstofdioxide (CO_2). Dat type metingen voert een gespecialiseerd laboratorium meestal uit, maar kan met een commercieel verkrijgbare CO_2 -logger ook door het museum of de erfgoedinstelling zelf worden gedaan. Met CO_2 -capsules die in de kookwinkel verkrijgbaar zijn, kan een slagroomspruit worden gevuld die vervolgens in de vitrine of het te meten volume wordt leeggedrukt.

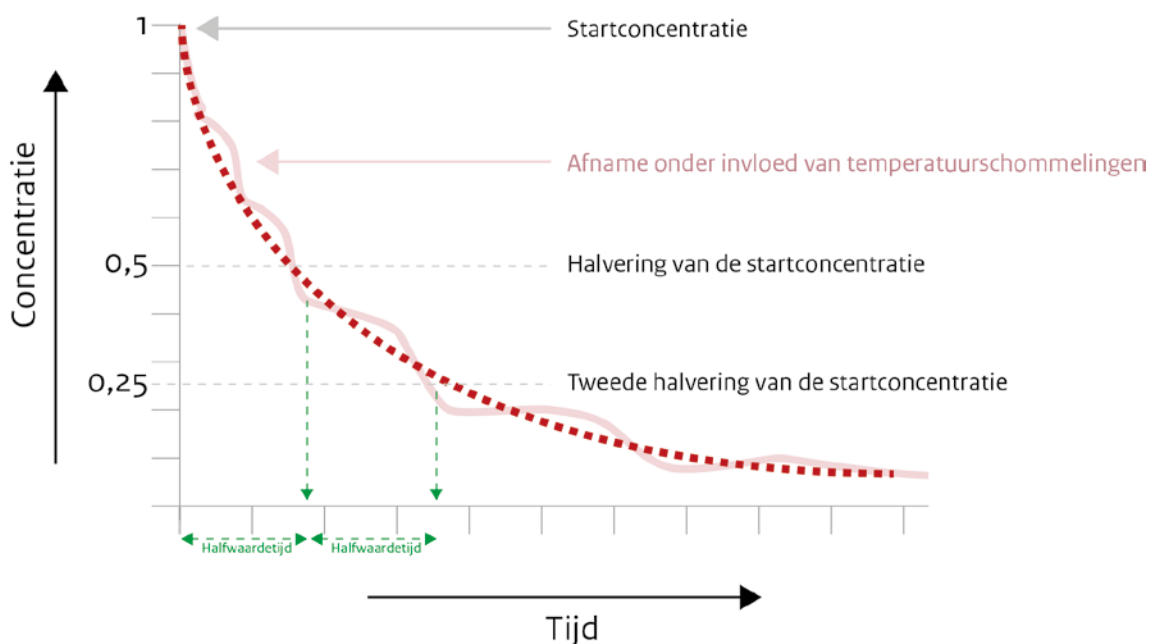
Wanneer het gas zich in de vitrine bevindt, zal de concentratie binnen hoger zijn dan daarbuiten. Door luchtuitwisseling zal de concentratie van het gas vervolgens in de tijd afnemen, net zolang totdat de concentratie van dat gas binnen en buiten de vitrine even hoog is. Voor CO_2 is dit tegenwoordig zo'n 400 ppm.

Halfwaardetijd

Als de afname van de concentratie in de tijd wordt gemeten, kan uit die grafiek de zogenaamde halfwaardetijd worden afgelezen. De halfwaardetijd ($t_{1/2}$) is de tijd waarin de concentratie van het ingebrachte gas als gevolg van uitwisseling met lucht van buiten de vitrine tot de helft van de oorspronkelijke waarde daalt. In afbeelding 19 is de afname en de daaruit voortvloeiende halfwaardetijd schematisch weergegeven.

Nu de halfwaardetijd ($t_{1/2}$) bekend is, kan eenvoudig het infiltratievoud (n) worden berekend met:

$$n = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,69}{t_{1/2}}$$



Afbeelding 19. De rode stippellijn toont een schematische weergave van de afname van een tracergasconcentratie in de tijd. Door de afname van de concentratie van een bepaald tracergas te meten, kan de halfwaardetijd van de afname worden bepaald. Met behulp van die waarde is vervolgens het infiltratievoud te berekenen. Bij het meten van een (luchtdichte) vitrine zal de lijn vaak minder gelijkmatig afnemen. Temperatuurverschillen resulteren in drukverschillen, waardoor de uitwisseling van de lucht in de tijd soms snel en soms langzaam gaat. Dat is met de lichtrode lijn aangegeven.

Als de halfwaardetijd bijvoorbeeld 1 dag is, dan kan worden berekend dat het infiltratievoud $0,69/1 = 0,69$ /dag bedraagt, dat is gelijk aan $0,029$ /uur. Als er een eis wordt gesteld aan het infiltratievoud, bijvoorbeeld $0,3$ /dag, dan kan worden berekend dat de halfwaardetijd $2,3$ dag mag zijn.

Driepuntsmeting

Als het maken van een grafiek voor de bepaling van de halfwaardetijd niet mogelijk is omdat met het meetsysteem niet continu gemeten kan worden, kan met drie afzonderlijke puntmetingen het infiltratievoud worden vastgesteld. Er wordt dan één meting gedaan aan het begin van het experiment, een tweede meting aan het einde en met de derde meting wordt de concentratie van het betreffende gas buiten de vitrine bepaald. Met deze waarden is het ventilatievoud te berekenen. De vergelijking die hiervoor gebruikt moet worden, is:

$$n = \frac{[\ln(c_{\text{start}} - c_{\text{Buiten}}) - \ln(c_{\text{eind}} - c_{\text{Buiten}})]}{\Delta t}$$

waarin:

n	het infiltratievoud	aantal per dag
c_{start}	concentratie in de vitrine bij het begin van de meting	ppm
c_{eind}	concentratie in de vitrine aan het einde van de meting	ppm
c_{buiten}	concentratie buiten de vitrine	ppm
Δt	tijdsduur tussen de metingen	dag*

*Als er gebruik gemaakt wordt van uren, dan moeten die nog gedeeld worden door 24.

Aandachtspunten voor luchtdichte vitrines

Uit afbeelding 16 valt af te lezen dat voor zeer luchtdichte systemen met een infiltratievoud kleiner dan $0,1$ per dag infiltratie nauwelijks een rol speelt. De uitwisseling van lucht en gassen via gaten en kieren vindt vooral door diffusie plaats. Om te voorkomen dat een (zeer) luchtdichte vitrine als gevolg van pompen altijd een infiltratievoud van $0,03$ per dag houdt, moeten eventueel voorkomende drukverschillen worden opgevangen. Dat kan met behulp van een drukvat, dat kan ook een zak zijn.²⁵

Als diffusie het dominante transportproces is van de luchtdichte vitrine moet je eraan denken dat het transport van moleculen bepaald wordt door het molecuulgewicht van het betreffende gas. Dat wordt relevant als met een ander gas wordt gemeten dan waar je rekening mee wilt houden.

Als bijvoorbeeld de luchtdichtheid is bepaald met CO_2 , maar de vitrine wordt ontworpen om het transport van waterdamp te beperken, dan kan een foutief beeld ontstaan. Dat komt omdat waterdamp een andere diffusieconstante heeft dan CO_2 . De meetresultaten moeten worden gecorrigeerd voor het verschil in molecuulmassa. Dus om het infiltratievoud voor waterdamp te berekenen – als het infiltratievoud met CO_2 al eerder is bepaald – kan gebruik gemaakt worden van de formule:

$$\frac{\text{Infiltratievoud 1}}{\text{Infiltratievoud 2}} = \sqrt{\frac{\text{Molecuulmassa 2}}{\text{Molecuulmassa 1}}}$$

waarin:

ventilatievoud wordt gegeven in aantal per dag
molecuulmassa (g/mol)
1 en 2 = gassen 1 en 2

Als bijvoorbeeld een luchtdichtheid van $0,1$ /dag is gekregen met CO_2 als tracergas, kan voor het infiltratievoud voor waterdamp worden berekend dat:

$$\frac{\text{Ventilatievoud CO}_2}{\text{Ventilatievoud H}_2\text{O}} = \frac{0,1}{\text{Ventilatievoud H}_2\text{O}} = \sqrt{\frac{44}{18}}$$

$$\downarrow$$

$$\text{Ventilatievoud H}_2\text{O} = \frac{0,1}{1,56} = 0,064/\text{dag}$$

In de praktijk is er geen correctie nodig als het infiltratievoud hoger is dan 1 /dag.

Duur van een infiltratievoudmeting

De gewenste duur van een infiltratievoudmeting hangt af van de verwachte lektheid van de vitrine. Voor vitrines met een verwachte (heel) lage infiltratievoud zal langer gemeten moeten worden dan bij systemen met een hoge luchtuitwisseling, zie tabel 9 voor de inschatting van het infiltratievoud.

Voor vitrines met een infiltratievoud groter dan $0,3$ /dag is een meting gedurende 24 uur vermoedelijk voldoende om de halfwaardetijd van de vitrine te kunnen bepalen. Voor vitrines met een infiltratievoud onder de $0,3$ /dag zijn meer dagen nodig om voldoende afname van het tracergas te kunnen registreren.

²⁵ Maekawa, S (ed.) *Oxygen-Free Museum Cases*. Research in Conservation, Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute (1998). http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/oxygen_free_cases

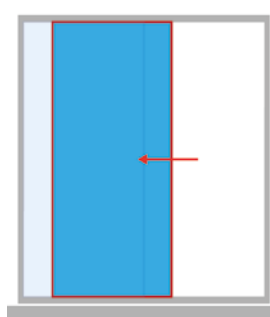
Als de meting enkele dagen duurt en in een omgeving wordt uitgevoerd waarin temperatuurfluctuaties voorkomen – zoals verschillen tussen dag en nacht – dan zal dat resulteren in een lijn die weliswaar exponentieel afneemt, maar daarin wel een schommelend effect laat zien (zie de lichte lijn in afb. 18). Dat komt omdat met temperatuurgradiënten drukverschillen ontstaan die weer een effect hebben op de ventilatie.

Waarom meten?

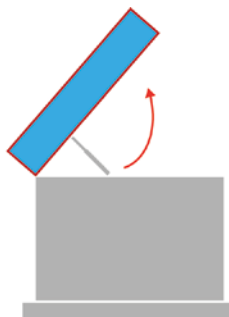
Als bij de aanschaf van een vitrine voor het infiltratievoud een specifieke eis is gesteld, kan met een meting worden geverifieerd of aan de gestelde eis is voldaan. Die meting valt onder de verantwoordelijkheid van de leverancier. Voor zeer luchtdichte systemen moet wel met de vitrineleverancier worden besproken bij welke temperatuur(schommelingen) de meting wordt uitgevoerd, omdat die een grote invloed op de uitkomst hebben.

Als de gemeten infiltratievoud sterk afwijkt van de gestelde eis zal gekeken moeten worden hoe de vitrine luchtdichter gemaakt kan worden. Denk daarbij aan mogelijke luchtlekken bij kabeldoorvoeringen, aansluiting glas-metaal en sluitingen van deuren. In de praktijk is ook gebleken dat als gevolg van lassen niet alleen oppervlakken vervormen, maar ook de lasnaden zelf poriën kunnen bevatten.

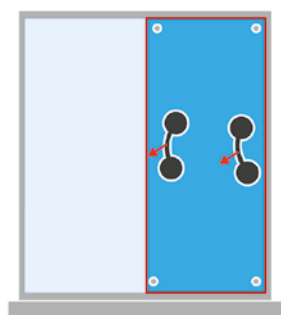
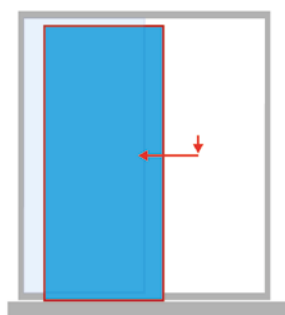
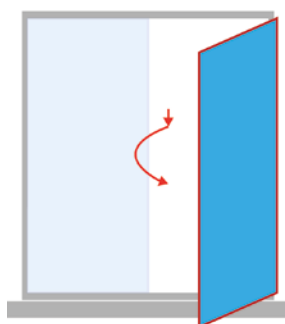
De kennis over het infiltratievoud is ook handig om te beoordelen in welke mate verontreinigingen, zoals waterstofsulfide (H_2S) dat verantwoordelijk is voor het aanlopen van zilver, de objecten kunnen bereiken. Ook kan met klimaatgegevens, geregistreerd in de tentoonstellingsruimte of uit het gebouwbeheersysteem, een inschatting van het heersende klimaat in de vitrine worden gemaakt.



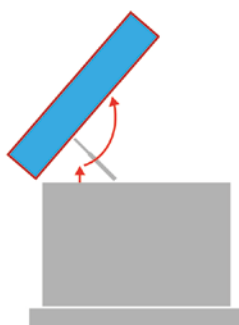
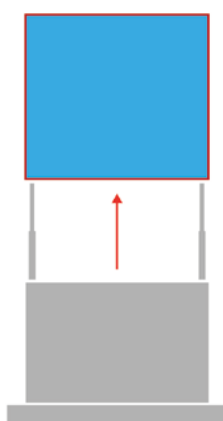
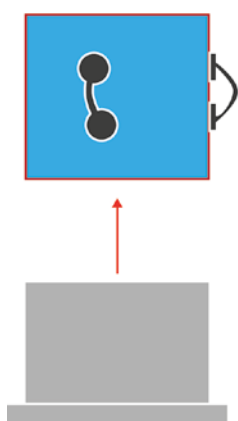
Schuifdeuren zijn moeilijk af te dichten, omdat de dichting niet loodrecht samengedrukt wordt bij sluiten.



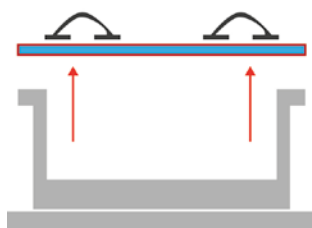
Scharnierende 4-zijdige glazen stolpen zijn lastig luchtdicht af te sluiten. De dichtingen worden onder een hoek samengedrukt waardoor deze onevenwichtig wordt belast.



Scharnierende en pull&slide mechanismen van vlakke glazen zorgen voor een goede compressie van de dichting.



Glazen stolpen die verticaal omhoog gaan, geven een ideale compressie van de dichting en kunnen goed luchtdichte vitrines geven.



De glazen plaat kan rondom met bouten worden aangeschroefd en de dichtingen worden rondom gelijkmatig ingedrukt, hierdoor ontstaat een zeer luchtdichte sluiting.

Afbeelding 20. Afhankelijk van hoe de sluiting van de toegang tot de vitrine wordt ontworpen, is het eenvoudiger of moeilijker een hogere luchtdichtheid van de vitrine te bereiken.

Zilver in dezelfde zaal, maar met grote verschillen

Het Valkhof Museum in Nijmegen had in 2004 een groot deel van de zilvercollectie tentoongesteld in een lange vitrine die ingebouwd was in de buitengevel. Een ander deel van de collectie stond in twee vrijstaande vitrines (afb. 21). Een aantal maanden na de opening bleek dat de zilveren objecten in de gevelvitrine donkere vlekken vertoonden, terwijl de objecten in de vrijstaande kasten slechts lichtgeel en uniform verkleurd waren.

De hoge snelheid waarmee het zilver in de gevelvitrines aanliep, was de aanleiding om te onderzoeken of er wellicht een zwavelbron in de vitrine was gebruikt of dat er misschien iets anders aan de hand was. Wat algemeen bekend is, is dat de aanloop van zilver afhankelijk is van de concentratie waterstofsulfide (H_2S) in de directe omgeving.

Uit metingen in het Valkhof Museum bleek dat de H_2S -concentratie in de gevel- en losstaande vitrines min of meer hetzelfde was (90-116 ppb). Het verschil in aanloop kon dus niet verklaard worden uit een significant verschil in de concentratie van H_2S . Daarom werd besloten om ook te kijken naar het infiltratievoud. Die werd met CO_2 voor beide vitrines uitgerekend (afb. 22). Uit de afnamecurves is de halfwaardetijd ($t_{1/2}$) bepaald, waarmee vervolgens het infiltratievoud is becijferd.

Toen bleek dat het infiltratievoud van de vrijstaande vitrine lager was dan die van de wandvitrine. Omdat de afnamecurve hobbelig is, werd ook onmiddellijk duidelijk dat de snelheid waarmee de lucht in de vitrine wordt ververst niet continu hetzelfde is. Op sommige momenten is de luchtverplaatsing sneller dan op andere momenten, het infiltratievoud was geen constante, maar fluctueerde in de tijd.

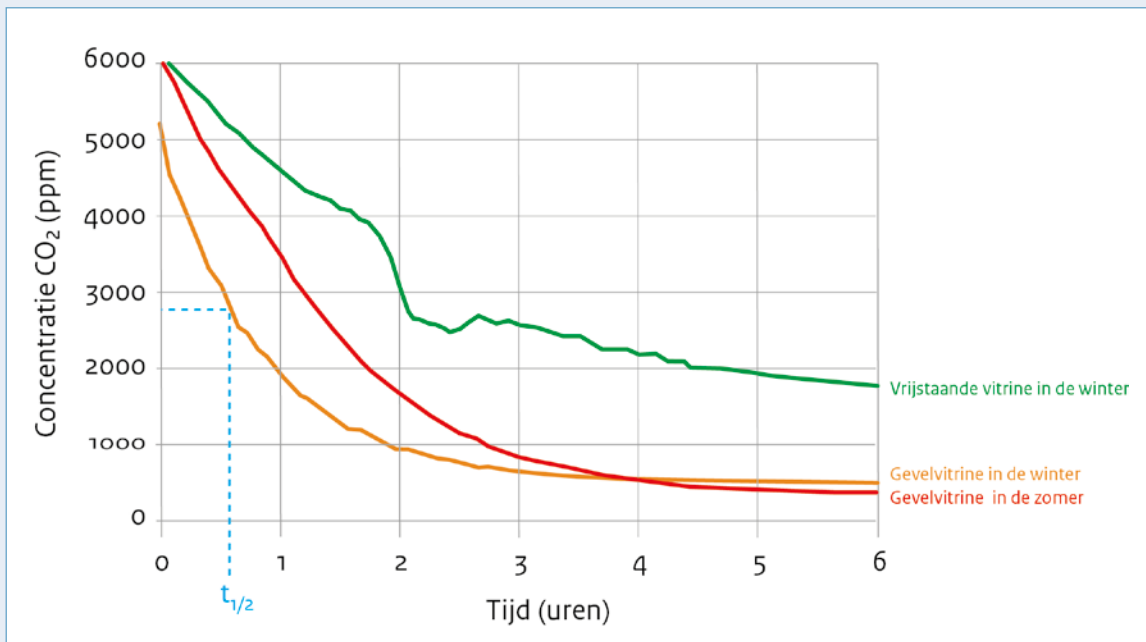
Invallend zonlicht

Het infiltratievoud van een vitrine hangt dus van verschillende factoren af, van het aantal gaten en spleten en de plek waar die zich bevinden, maar ook van de temperatuurverschillen die tot drukverschillen leiden. Vooral in de vitrine aan de buitengevel kan de temperatuur door het jaar heen behoorlijk variëren. 's Zomers warmt de vitrine op door invallend zonlicht (kaseffect), terwijl in de winter de buitenwand van de vitrine relatief koud zal zijn (zie afb. 23).

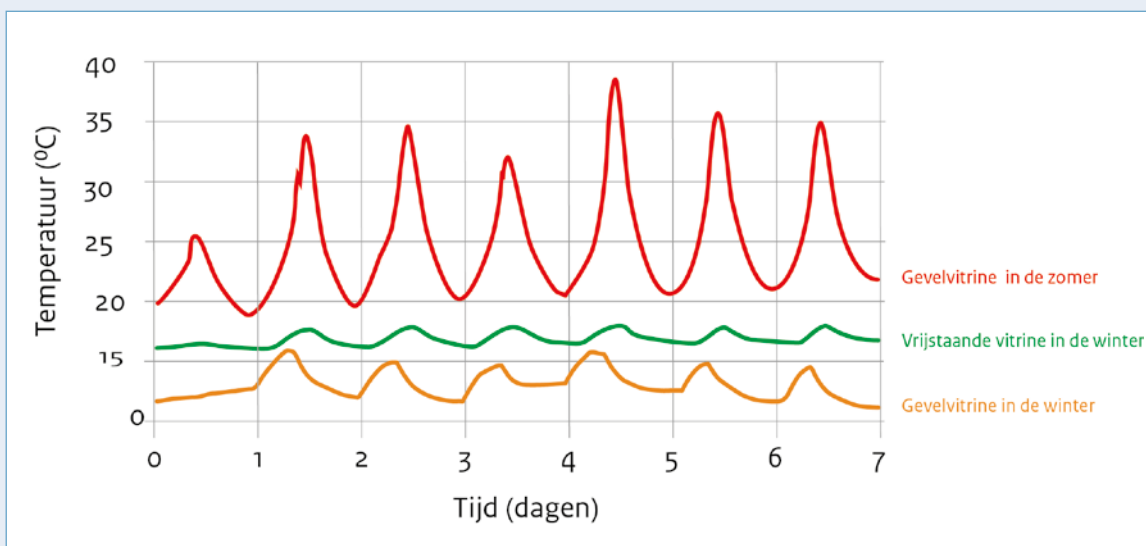
In afbeelding 22 is af te lezen dat de CO_2 -concentratie in de losstaande vitrine aanzienlijk langzamer afneemt dan in de gevelvitrine. Verder is duidelijk dat de lijn hobbelig is. Dat betekent dat de snelheid waarmee de lucht in de vitrine wordt ververst niet continu hetzelfde is. Op sommige momenten is de luchtverplaatsing sneller dan



Afbeelding 21. Een overzicht van de gevelvitrine en losstaande vitrines in het Valkhof Museum in 2004 (foto: Bart Ankersmit).



Afbeelding 22. De CO₂-afnamecurves voor de gevelvitrine in de zomer en winter en van de vrijstaande vitrine.



Afbeelding 23. De temperatuur tijdens de zomer en de winter, in de gevelvitrine en de vrijstaande vitrine (alleen in de winter). De hier gepresenteerde data begonnen op maandagochtend 9 uur en duurden precies 1 week. De gevelvitrine (winter) van 24 t/m 31 dec, de gevelvitrine (zomer) van 12 t/m 19 aug, de vrijstaande vitrine (winter) van 7 t/m 14 jan.

op andere momenten, vandaar dat het infiltratievoud geen constante is. Uit de lijnen kan worden bepaald dat het infiltratievoud van de gevelvitrine 16 ± 4 /dag bedraagt in de zomer en 24 ± 9 /dag in de winter en dat de vrijstaande vitrine een infiltratievoud heeft van 7 ± 2 /dag. De conclusie is dan ook dat de losstaande vitrine ongeveer driemaal meer afgesloten van de omgeving is dan de gevelvitrine en dat door de gevelvitrine in de winter meer lucht stroomt dan in de zomer.

In beweging

Door de grote temperatuurverschillen (afb. 22) in de gevelvitrine komt de lucht in beweging. Warme lucht stijgt op en zal door de openingen aan de bovenzijde de vitrine verlaten. Als er aan de onderzijde openingen zijn, zal relatief koele lucht de vitrine ingezogen worden, waardoor 'trek' ontstaat (vergelijkbaar met een die van een openhaard). De lucht wordt zo langs de objecten

geleid, waardoor het zilver voortdurend met de schadelijke bestanddelen van de lucht in aanraking komt.

De aanloopsnelheid van zilver is een product van drie factoren: concentratie van schadelijk gas, de tijdsduur van de blootstelling en luchtstromen. De concentratie H₂S en de tijd van blootstellen is voor beide vitrines hetzelfde. Het grote verschil zit in de luchtstromen, die is in de gevelvitrine aanzienlijk groter dan die in de losstaande vitrine. Hierdoor loopt het zilver in de gevelvitrine veel sneller aan dan in de losstaande vitrine.

De oplossing om de aanloop te verminderen moet dan ook gezocht worden in een verkleining van de temperatuurverschillen en -fluctuaties en in het dichtmaken van de vitrines. Niet in het zoeken naar de bron voor de schadelijke gassen.



Een vitrine biedt de mogelijkheid om het document met lichtgevoelige kleurstoffen extra te beschermen (foto: Bart Ankersmit).

Er komen maar weinig objecten in museale en erfgoedcollecties voor die reageren op fluctuaties in temperatuur. Er zijn wel veel objecten die gevoelig zijn voor veranderingen van het vochtgehalte, dat zijn de hygroscopische materialen, zoals papier, hout, textiel en andere organische materialen. Voor het behoud van deze materialen die door hun specifieke constructies – onder invloed van vochtveranderingen – spanningen kunnen opbouwen, is een enigszins stabiele relatieve luchtvochtigheid belangrijk.

Vaak vormen kleine fluctuaties geen risico op schade, maar kunnen grote fluctuaties – die de responstijd²⁶ van het object overstijgen – tot vervormingen leiden, zoals scheuren, verfvlies en kromtrekken. Als gevoelige objecten in een minder gunstig binnenklimaat worden tentoongesteld dan kan de relatieve luchtvochtigheid in een (luchtdichte) vitrine op twee manieren gestabiliseerd worden:

1. passief, door gebruik te maken van vochtbuffers;
2. actief, met een kleine ont- en bevochtiger.

Passieve klimatisering

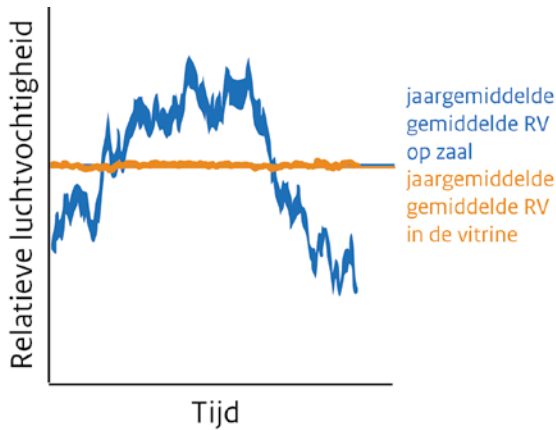
Een vochtbuffer, ook wel hygrische buffer genoemd, wordt over het algemeen gebruikt om de relatieve luchtvochtigheid te stabiliseren (afb. 25a), maar kan ook worden ingezet om een heel andere stabiele relatieve luchtvochtigheid te handhaven (afb. 25b). Bijvoorbeeld bij het veilig opslaan of tentoonstellen van archeologisch ijzer dat bij voorkeur bij een zeer lage relatieve luchtvochtigheid moet gebeuren. Zo kunnen uiterst vochtgevoelige objecten toch tentoongesteld worden in een minder optimaal binnenklimaat.²⁷

²⁶ De hygrische responstijd van een materiaal is de tijd die benodigd is om na een verandering de relatieve luchtvochtigheid in evenwicht te laten komen. Dit uitwisselen van vocht kost tijd.

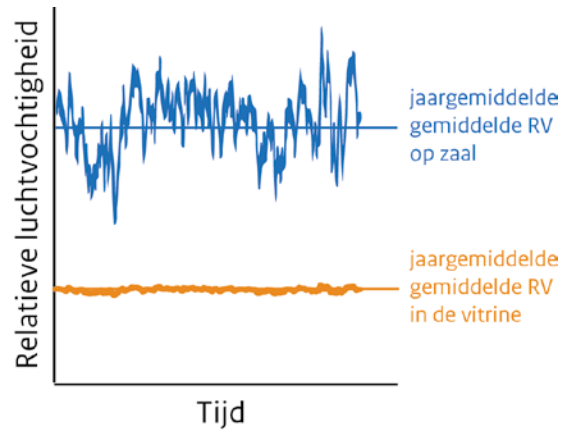
²⁷ Thicket D., Ph. Fletcher, A. Calver, S. Lambarth, 'The effect of air tightness on rh buffering and control', *Museum Microclimates*, The National Museum of Denmark, Copenhagen (2007) 245-251.



Afbeelding 24. Als in een afgesloten volume, zoals hierboven in de tafelvitruines of in de boekenkasten, de hoeveelheid lucht beperkt is ten opzichte van de hoeveelheid hygroscopisch materiaal (in dit geval de boeken) zal de relatieve luchtvochtigheid heel stabiel zijn (foto: beeldbank RCE). Terwijl in de vitrine met een heel beperkte thermische en hygrische massa (de munten) het klimaat in de vitrine met die van de zaal zal meebewegen (foto: Bart Ankersmit).



Afbeelding 25a. De relatieve luchtvochtigheid in de vitrine is soms hoger en soms lager dan in de ruimte eromheen. De ruimte regenereert de vochtbuffer.

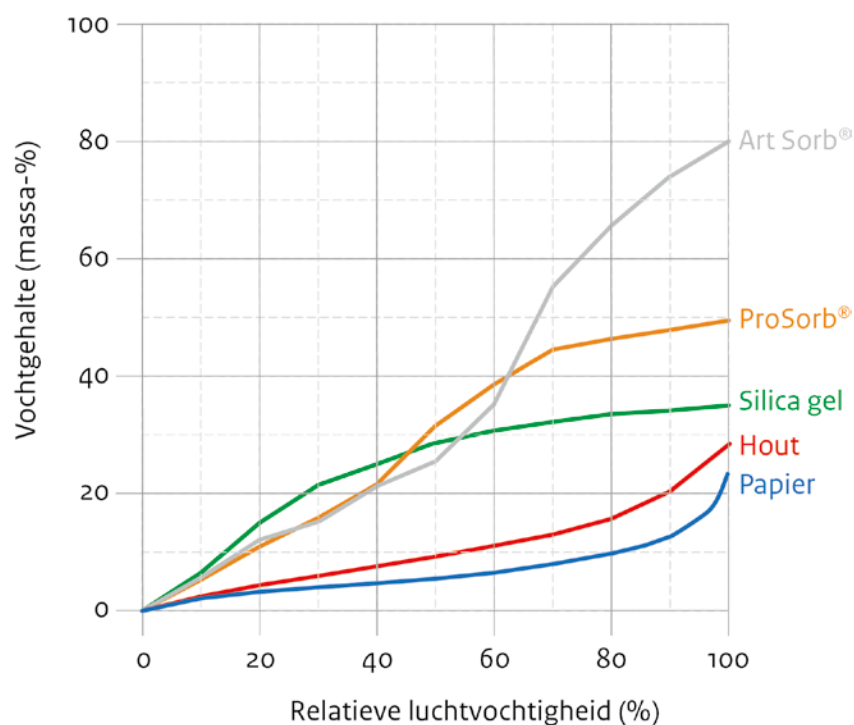


Afbeelding 25b. De relatieve luchtvochtigheid in de vitrine is het hele jaar lager dan in de ruimte eromheen. Om die reden moet met regelmaat de vochtbuffer worden vervangen.

Welke vochtbuffers zijn er?

Er bestaan verschillende soorten buffers om fluctuaties in de relatieve luchtvochtigheid te dempen. De meest voorkomende commercieel verkrijgbare vochtbuffers zijn silica gel, Art Sorb® en PROSorb®. Ze hebben allemaal een eigen bereik waarbij ze het meest efficiënt zijn om veranderingen van de relatieve luchtvochtigheid op te vangen.

In afbeelding 26 is voor de verschillende typen buffers de waterabsorptiecapaciteit weergegeven. Bij het bereik van $40\% < RV < 60\%$ laat PROSorb® de steilste helling zien voor het vochtgehalte. Dat betekent dat al bij kleine veranderingen van de relatieve luchtvochtigheid dit materiaal het meeste vocht opneemt en afstaat. Hiermee is PROSorb® het meest efficiënt als een stabiele RV tussen de 40% en 60% wordt gewenst. Als een lagere stabiele RV van bijvoorbeeld 20% moet worden gehandhaafd is silica gel efficiënter.



Afbeelding 26. Het vochtgehalte van verschillende hygroscopische materialen als functie van de relatieve luchtvochtigheid.

In veel musea wordt in plaats van PROSorb® vaak silica gel gekozen. Het is iets goedkoper en heeft een adequate bufferende capaciteit.

Hoeveel buffer is nodig?

De hoeveelheid buffer die nodig is om de relatieve luchtvochtigheid in een gesloten volume te stabiliseren of om de relatieve luchtvochtigheid op een ander niveau te handhaven ten opzichte van die in de ruimte eromheen, is niet voor elke situatie hetzelfde. Er zijn verschillende factoren die bepalen hoeveel buffer nodig is om de relatieve luchtvochtigheid over een bepaalde periode te handhaven. De hoeveelheid benodigde buffer is afhankelijk van:

- het verschil tussen de relatieve luchtvochtigheid in de vitrine en de relatieve luchtvochtigheid in de ruimte waar die staat;
- het volume van het compartiment;
- de hoeveelheid lucht die tussen de vitrine en de ruimte wordt uitgewisseld, het infiltratievoud;
- de temperatuurfluctuaties in de ruimte; die bepalen het drukverschil tussen de vitrine en de ruimte;
- de gewenste frequentie waarmee de buffer wordt vervangen.

Als deze factoren bekend zijn kan met behulp van een vergelijking de benodigde hoeveelheid buffer worden uitgerekend.²⁸

De benodigde hoeveelheid silica gel (of andere buffermateriaal, zoals Art Sorb®) kan worden berekend aan de hand van een vergelijking die daarvoor is opgesteld:

$$Q = \frac{0,01 \cdot (C_{sat} \cdot (RH_{vitrine} - RH_{zone})) \cdot V \cdot (n_{inf} \cdot t)}{M_h \cdot \Delta RH}$$

waarin:

Q	Hoeveelheid silica gel die nodig is voor buffering	kg
C _{sat}	Concentratie waterdamp bij verzadiging. Voor silica gel bedraagt die circa 15 g/m ³ bij 20°C en circa 25 g/m ³ bij 25°C	g/m ³
RH _{vitrine} - RH _{zone}	Verskil tussen de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de vitrine en relatieve luchtvochtigheid in de ruimte eromheen. Als in de vitrine een RV van 45-55% moet worden gehandhaafd en die in een ruimte staat met een relatieve luchtvochtigheid van 35-65% dan is deze waarde 10%	%
V	Volume van de vitrine	m ³
n _{inf}	Infiltratievoud van de vitrine	1/dag
t	Aantal dagen dat de vitrine binnen de gestelde waarden moet blijven	dag
M _h	Vochtbuffercapaciteit van de buffer. Dit wordt gedefinieerd als de hoeveelheid vocht dat opgenomen of afgestaan wordt door 1 kg buffermateriaal voor elke 1% verandering van de relatieve luchtvochtigheid. Voor silica gel: M _h = 2 g/kg/%	g/kg/%
ΔRH	Maximale relatieve luchtvochtigheid-bereik waarbinnen de waarden moeten blijven	%

De hoeveelheid benodigde buffer is lineair afhankelijk van de verschillende variabelen en randvoorwaarden, zoals in bovenstaande vergelijking is weergegeven. Enkele van de variabelen zijn keuzes, zoals het volume, het infiltratievoud en het aantal dagen dat de relatieve luchtvochtigheid binnen de gestelde waarden moet blijven. In veel gevallen is de relatieve luchtvochtigheid in de ruimte een gegeven. Door enkele variabelen als constant te beschouwen, kan het effect van andere variabelen op de benodigde hoeveelheid buffer worden bestudeerd met behulp van een grafiek.

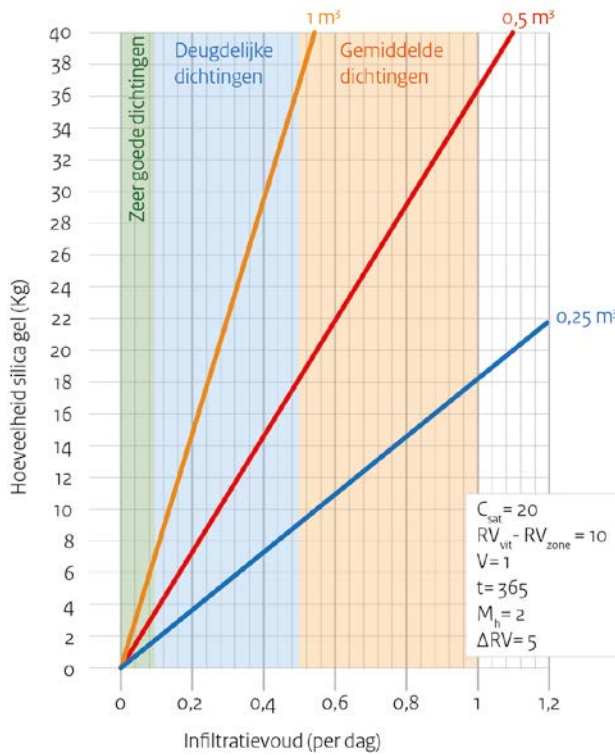
Continu of zo nu en dan

Een belangrijk aspect van het gebruik van een vochtbuffer in een vitrine is de vraag of de buffer door de relatieve luchtvochtigheid van de ruimte wordt 'leeggezogen' of 'volgepompt'. Als er een continu verschil tussen de relatieve luchtvochtigheid in en buiten de vitrine is dan moet de buffer continu dat verschil compenseren. Dat is weergegeven in afbeelding 25b.

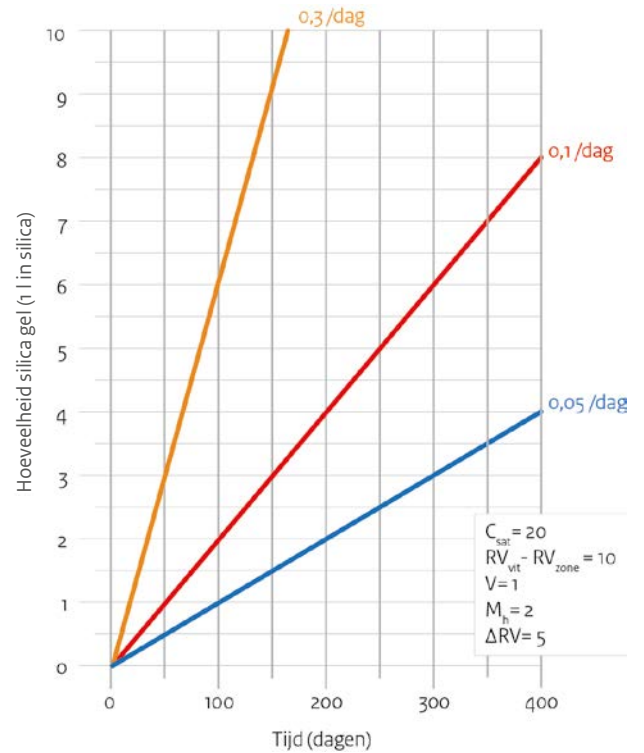
Als de relatieve luchtvochtigheid in de ruimte zo nu en dan hoger is dan die in de vitrine en soms lager, bijvoorbeeld als gevolg van seizoenfluctuaties, dan zal de buffer als het ware door de omgeving in de relatief droge winter vocht verliezen, maar in de zomer als de relatieve luchtvochtigheid hoger is, weer vocht ontvangen. Dat is te zien in afbeelding 25a.

In afbeelding 27a en b zijn met behulp van bovenstaande vergelijking verschillende grafieken gemaakt, waarin voor een ander ventilatievoud en verschillende tijden waarin de vitrine stabiel moet zijn, de benodigde hoeveelheid hygrische buffer is gevisualiseerd.

²⁸ <https://www.smallcorp.com/silica-gel-calculator/>



Afbeelding 27a. Benodigde hoeveelheid silica gel als functie van het infiltratievoud voor drie verschillende volumes: $0,5 \text{ m}^3$, 1 m^3 en 10 m^3 .



Afbeelding 27b. Benodigde hoeveelheid silica gel als functie van de tijd waarin de relatieve luchtvochtigheid binnen de grenswaarden van 5% moet blijven voor drie verschillende infiltratievouden: $0,05/\text{dag}$, $0,1/\text{dag}$ en $0,3/\text{dag}$.

Het aantal dagen waarin de relatieve luchtvochtigheid binnen de gestelde bandbreedte moet worden gehandhaafd is een keuze. Als de periode langer wordt, bijvoorbeeld van 3 maanden (90 dagen) naar een halfjaar (180 dagen) dan neemt de benodigde hoeveelheid buffer ook lineair toen met een factor 2.

In bijlage 1 wordt beschreven hoe de formule in Excel geplaatst kan worden, waardoor het mogelijk is voor elke specifieke situatie de benodigde hoeveelheid silica gel te berekenen en hoe bij het variëren van bepaalde keuzes de hoeveelheid silica gel verandert.



Afbeelding 28. Silica gel wordt vaak in zakken in afzonderlijke compartimenten, zoals een lade, onder de vitrine geplaatst. In Museum Kaap Skil is ervoor gekozen om de bodemplaat van de vitrine te bedekken met korrels silica gel. Zo lijkt het net alsof de maritieme archeologische vondsten nog op de zeebodem liggen (foto's: Mike Bink).

Bufferen van temperatuur

Ook de temperatuur zou eventueel gebufferd kunnen worden. Daarvoor is een materiaal nodig dat een behoorlijke hoeveelheid energie kan opslaan en weer afgeeft aan zijn omgeving bij temperatuurveranderingen. De vitrine moet een zekere thermische massa hebben. Materialen met een grote thermische massa zijn bijvoorbeeld (natuursteen)steen, staal en beton. Een groot nadeel is dat er veel steen of staal nodig is om voldoende thermische massa te hebben dat bijvoorbeeld een fluctuatie van een week opvangt, laat staan van een heel seizoen.

PCM's

Er zijn ook synthetische materialen die energie kunnen opnemen en afstaan. Die overdracht is een gevolg van een faseverandering van het materiaal, vandaar de naam faseveranderende materialen, ook wel *phase changing materials* (PCM's) genoemd. Die PCM's worden, zij het beperkt, toegepast in gebouwen. In gebouwen wordt gebruik gemaakt van PCM-panelen. Deze panelen met een specifiek zoutmengsel kunnen overdag tijdens de winter de warmte opnemen en die 's nachts weer afgeven, waardoor het huis tijdens de nachtelijke uren minder afkoelt. Hierdoor hoeft in de ochtend de verwarming minder te compenseren.

In de zomer gebeurt precies het omgekeerde. 's Nachts zorgt de koudere buitenlucht ervoor dat het PCM stolt. De koude uit de buitenlucht wordt dan opgeslagen in het fase-overgangsmateriaal. Overdag, wanneer het buiten warm is, smelt het PCM weer. De warmte uit de buitenlucht wordt dan als smeltingswarmte opgeslagen in het fase-overgangsmateriaal. Overdag zorgt het PCM dat de omgevingslucht wordt gekoeld door de opgeslagen koude af te staan en 's nachts wordt de opgeslagen warmte gebruikt om de omgevingslucht te verwarmen. Zo zouden vitrines die blootstaan aan grote temperatuurfluctuaties eventueel ook gestabiliseerd kunnen worden.²⁹ Alleen is hier in Nederland nog geen ervaring mee, wel zijn PCM-platen in de vitrine voor *De aanbidding van het Lam Gods* in Gent toegepast (afb. 6).

Actieve klimatisering

De relatieve luchtvochtigheid kan ook worden beïnvloed met behulp van een actief klimaatsysteem dat vocht toevoegt aan of verwijdert uit de lucht. In tegenstelling tot het gebruik van een passieve methode voor de stabilisering van de relatieve luchtvochtigheid, kan bij gebruik van een actief systeem de relatieve luchtvochtigheid snel veranderen bij uitval van de be- of ontvochtiging.

Onderhoud en monitoring zijn belangrijke maatregelen om het risico op plotselinge fluctuaties te beperken. Dat vraagt om aandacht en zal als speciale opdracht bij een van de medewerkers in het museum of erfgoedinstelling moeten worden neergelegd.

Om in een gesloten volume de relatieve luchtvochtigheid stabiel te houden, zijn apparaten op de markt waarmee zowel be- als ontvochtigd kan worden. De geconditioneerde lucht wordt daarna met slangen met een kleine diameter in de (lucht)dichte vitrine gebracht (afb. 29). Voorbeelden van verkrijgbare systemen zijn de MiniClima EBC, de PMCG Constant Humidity Generator en de Mini ONE.



Afbeelding 29. Controle van de relatieve luchtvochtigheid van een vitrine in de Waag in Deventer met behulp van een MiniClima-systeem (foto: Anne van Geuns).

²⁹ Yu M., X. Zhang, Y. Zhao, X. Zhang, 'A Novel Passive Method for Regulating Both Air Temperature and Relative Humidity of the Microenvironment in Museum Display Cases', *Energies* 12(19), (2019) 3768.

Luchtbehandeling

Vitrines kunnen ook worden voorzien van volledige luchtbehandeling, waarmee zowel de temperatuur als de relatieve luchtvochtigheid kan worden gecontroleerd. Het plaatsen van een volledige luchtbehandelingskast is in Nederland niet gangbaar, maar wel in het archeologisch museum in Bolzano (afb. 30).

In het Scheepvaartmuseum in Amsterdam zijn enkele vitrines gekoppeld aan een luchtbehandelingskast, waarmee zowel de relatieve luchtvochtigheid als de temperatuur op niveau kan worden gehouden. De vitrines worden via een koppeling aangesloten op het luchtkanaal onder de vloer en voorzien van geconditioneerde lucht. De vitrine staat in lichte overdruk ten opzichte van de ruimte, waardoor er geen ongeconditioneerde lucht de vitrine in lekt.

Afsluitend

Vitrines kunnen een klimaat handhaven dat volledig is ontkoppeld van het ruimtelijke binnenklimaat. Dat biedt grote mogelijkheden voor verduurzaming. Terwijl de gevoelige objecten, veilig beschermd in de vitrine, bij een constante relatieve luchtvochtigheid kunnen worden tentoongesteld, kan het klimaat op zaal meebewegen met de seizoenen. Hierdoor kan het totale energieverbruik significant worden verminderd. Maar niet alle objecten vragen om deze bescherming. Typisch kwetsbare objecten zijn paneelschilderijen, gefineerde houten objecten die uit dun hout zijn gemaakt, ivoeren voorwerpen en objecten met inlegwerk. Het ligt voor de hand om te beginnen met een passieve buffering van de vitrine, mocht dat onmogelijk blijken dan kan worden overwogen om met actieve systemen de relatieve luchtvochtigheid en/of de temperatuur te stabiliseren.



Afbeelding 30. In 1998 opende het Zuid-Tiroler Archeologiemuseum in het Italiaanse Bolzano zijn deuren. Na een renovatie kon het de zeer gevoelige voorwerpen tentoonstellen die bij de gletsjermummie Ötzi zijn gevonden. De vitrines zijn afzonderlijk geklimatiseerd om een stabiele relatieve luchtvochtigheid te garanderen (foto: Bart Ankersmit).

Een veilig klimaat voor de manuscripten van Anne Frank

Vanaf juni 2018 worden de originele dagboeken en andere manuscripten van Anne Frank in vitrines permanent tentoongesteld onder omstandigheden waarbij het verval van het zeer kwetsbare papier zoveel mogelijk wordt beperkt. Dat gebeurt in het Anne Frank Museum in Amsterdam.

Het rood geruite dagboek, enkele schriften en veel losse vellen papier zijn sinds 2009 erkend als Werelderfgoed en zijn dagelijks te zien in het museum. De ontwikkeling van de nieuwe vitrines duurde meer dan twee jaar. De Anne Frank Stichting heeft in die periode contact gezocht met veel experts in binnen- en buitenland, want hoe beveilig je zulke bijzondere, maar ook heel kwetsbare documenten, terwijl er tegelijkertijd massa's bezoekers naar komen kijken?

In Amsterdam vroeg het projectteam zich bijvoorbeeld af: hoe beschermt de National Archives and Records Administration in Washington de onafhankelijkheidsverklaring die daar permanent te zien is? En hoe doet de Library of Congress dat met de Waldseemüller-kaart uit 1507? Moest de Anne Frank Stichting ook zuurstofloze vitrines overwegen? Onder welke condities is het verval minimaal? Moeten de pagina's vaker of juist minder vaak

worden omgeslagen? Hoe zit het met het risico op trillingen?

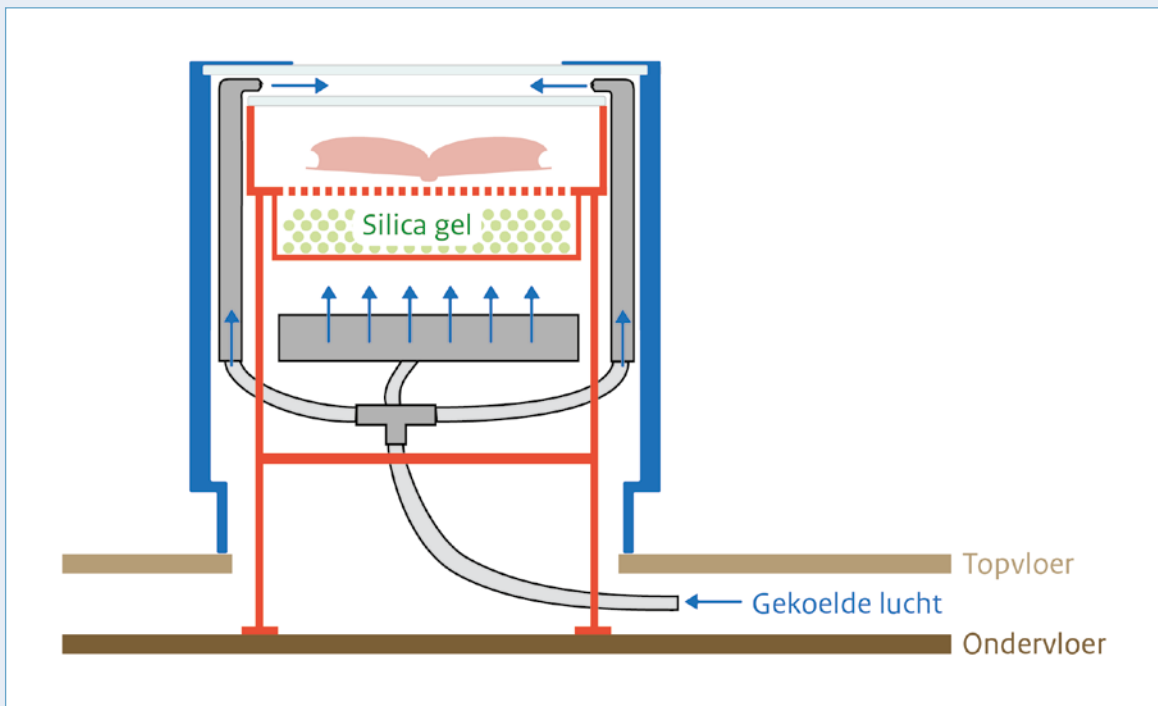
Op lage temperatuur

Om antwoorden op deze vragen te vinden, is een risico-analyse uitgevoerd. Hieruit bleek dat de impact van trillingen al op een acceptabel niveau was, vooral omdat het dagboek op een comfortabel kussen ligt. Om degradatie door het klimaat te verkleinen, geldt; hoe kouder en droger, des te beter. Er werd een compromis gevonden in een temperatuur van $16^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en een relatieve luchtvochtigheid $45\% \pm 5\%$. Het acceptabele lichtniveau is bepaald op 12 lux, wat voldoende is om de tekst te kunnen lezen.

Het museum heeft daarna enkele (klimaat)adviseurs gevraagd een vitrineontwerp te maken waarin de gewenste condities te realiseren waren. Op basis van de verschillende ontwerpen is besloten om een doos-in-doos te creëren. De buitenste doos vormt de hoogwaardige veiligheidsschil en moet ervoor zorgen dat trillingen in de ruimte niet doorgegeven worden aan de objecten in de binnenste doos. De luchtdichte binnenste doos die op een onderliggende vloer is bevestigd, is voorzien van silica gel en de ruimte tussen de twee vitrines wordt



Afbeelding 31. De manuscripten van Anne Frank liggen in een dubbele vitrine, die door de meeste bezoekers niet als zodanig zal worden ervaren (foto: Bart Ankersmit).



Afbeelding 32. Schematische dwarsdoorsnede van de doos-in-doo-vitrine waarbij de binnenste doos (rood) op een ondervloer staat en met silica gel wordt gebufferd. De buitenste doos (blauw) is de veiligheidsschil en staat op de topvloer. De spouw tussen de twee glasplaten, de zijkanten van de vitrine en de onderzijde van de binnenste vitrine worden voortdurend doorgespoeld met gekoelde lucht.

geconditioneerd met gekoelde lucht, waardoor er altijd een constante temperatuur van 17°C rondom de manuscripten heerst.

Computermodellen

De doos-in-doo-constructie biedt de mogelijkheid om de luchtspouw te ventileren met gekoelde lucht. Maar was dat ook daadwerkelijk zo te bouwen en hoe gaat de lucht dan stromen? Samen met de firma Meyvaert in Gent werden de eerste ruwe schetsen verder uitgewerkt, want hoe zou de vitrine opengaan en was de dagboekpagina dan wel makkelijk om te slaan? Wat zou dat betekenen voor de zichtbaarheid van de documenten? En hoe zit het met een eventuele evacuatie?

Er werden verschillende workshops georganiseerd om deze vragen met eenvoudige opstellingen te bestuderen. Ondertussen was de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) bezig om met behulp van computermodellen te onderzoeken of de binnenste vitrine wel met geconditioneerde lucht goed op temperatuur te houden is, in een tentoonstellingsruimte waar dagelijks zoveel mensen doorheen lopen. Ook werden de kleuren van de vitrine vastgesteld en is bepaald of de constructiematerialen en verf schadelijke stoffen uitwasemden.

Slechts 1 cm breed

De vitrinebouwer kreeg op basis van de eerste bevingingen de opdracht om een voorlopig ontwerp voor een dubbele vitrine uit te werken. De tekeningen hielpen om met de klimaatadviseurs te bedenken hoe de lucht in de

spouw van slechts 1 cm breed gebracht moest worden. De verlichting zou in de spouw worden opgenomen. Maar zou de gewenste luchtstroom in de spouw dan nadelig beïnvloed worden door een armatuur? Wat betekent een doos-in-doo voor de zichtbaarheid van de manuscripten? Gelukkig kon met de modellen worden vastgesteld dat een lichtarmatuur in de luchtspouw geen grote invloed op de luchtstroom zou hebben. Een eerste doos-in-doo-vitrine was toen al snel in de maak.

Twee maanden later kon de esthetiek en het fysisch gedrag van de vitrine worden beoordeeld. Een hele week werden tal van experimenten uitgevoerd om te zien met welke temperatuur en met welke snelheid de lucht ingeblazen moest worden om de binnenste vitrine op een constante temperatuur van 17°C te houden, terwijl de ruimte kunstmatig warm gehouden werd. Met rook werd gekeken of de lucht zich wel gedroeg naar de voorspelling. Het bleek een succesvolle week waardoor met een gerust gevoel de andere twee vitrines ook besteld konden worden. Ze staan nu al enkele jaren naar volle tevredenheid van de stichting in het Anne Frank Huis.^{30, 31}

³⁰ Kompatscher K., B. Ankersmit, E. Neuhaus, M.A.P. van Aarle, J. van Schijndel, H. Schellen, 'Experimental and Numerical Analysis of a Novel Display Case Design: Case Study of the Renovated Anne Frank House', *Studies in Conservation*, 65:5 (2020) 262-284.

³¹ Ankersmit B., T. da Silva, 'Mind the gap – Developing new display cases for the manuscripts of Anne Frank', *Transcending Boundaries: Integrated Approaches to Conservation*, ICOM-CC 19th Triennial Conference Preprints, Beijing, 17-21 May 2021.

Veel objecten kunnen zonder beschermende maatregelen aan een breed publiek getoond worden, maar soms zijn er redenen om de objecten in de tentoonstelling tegen verschillende schadefactoren te beschermen. Met een transparante barrière blijft het object zichtbaar en kunnen bedreigingen significant worden verminderd, want:

- de bezoekers kunnen het object niet meer aanraken;
- het object is minder aan stof en andere schadelijke gassen blootgesteld;
- het klimaat in een vitrine kan stabiel zijn dan het klimaat in de ruimte;
- het object is beter beschermd tegen diefstal en vandalisme;
- het object is beter beschermd tegen de effecten van UV-straling en eventueel (dag)licht.

Naast deze positieve effecten zijn er ook risico's die juist groter kunnen worden door het gebruik van een vitrine (afb. 33). In een vitrine kan het bijvoorbeeld gebeuren dat:

- bepaalde constructiematerialen schadelijke gassen uitstoten die een chemische reactie aangaan met het tentoongestelde voorwerp;
- in de vitrine een warmtebron, zoals halogeenverlichting, aanwezig is waardoor objecten opwarmen en vervormen en/of sneller vervallen;
- als gevolg van temperatuurfluctuaties er veel lucht wordt rondgepompt waardoor objecten sneller vervuilen;
- schadelijke gassen uit de objecten gevangen blijven.

Glas doet iets

Een ander belangrijk aspect van het gebruik van vitrines is dat door de plaatsing van het object achter glas de afstand tussen de bezoeker en het object wordt vergroot. Als gevolg daarvan zouden details van het oppervlak van het object minder makkelijk te zien kunnen zijn. Soms staan objecten achter spiegeland glas en reflecteert het oppervlak, waardoor het object erachter voor de



Afbeelding 33. Dat het klimaat in de vitrine niet altijd beter is dan daarbuiten wordt goed geïllustreerd met de olifant in de tentoonstelling 'Elephant Parade' (2009) op het Amsterdamse Museumplein. Door de lage nachttemperatuur en de hoge vochtigheid is er condens in de vitrine ontstaan. Doordat de vitrine gesloten is, wordt de hoge vochtigheid niet geventileerd. Als de buitentemperatuur gedurende de dag hoger wordt, zal de vitrine langzaam opwarmen waardoor de relatieve luchtvochtigheid wat zal dalen. Het object wordt zodoende lang aan (te) hoge luchtvochtigheden blootgesteld (foto: Bart Ankersmit).



Afbeelding 34. Spiegelend glas geeft storende reflecties (foto: Bart Ankersmit).

bezoeker minder goed zichtbaar is (afb. 34). Dan verliest het object juist zijn presentatiewaarde. Door de plaatsing achter glas gebeurt er ook nog iets anders met het object: het wordt bijzonderder gemaakt. Daardoor kan de waardering voor het tentoongestelde werk veranderen.

Soms is het onmogelijk, te kostbaar of buitengewoon ingrijpend om de omgevingsomstandigheden rondom een voorwerp of collectie zo aan te passen dat de objecten veilig tentoongesteld kunnen worden. Denk bijvoorbeeld aan een historische kerkrimte in een monumentaal grachtenpand, zoals Museum Ons' Lieve Heer op Solder in Amsterdam. Het is uitdagend om in zo'n historisch interieur een vergelijkbaar beschermingsniveau te bieden als in een modern museum. Het gebruik van vitrines heeft een grote invloed op de historische beleving van de ruimte. Het dilemma is of een opengeslagen 18^{de}-eeuwse bijbel in een moderne vitrine getoond

wordt in de historische context, of dat de bijbel uit de context wordt gehaald en in een verantwoord ruimtelijk klimaat zonder glas wordt getoond. Ons 'Lieve Heer op Solder heeft een oplossing gevonden met een tentoonstellingszaal in het souterrain.

De formulering van de eisen waaraan een vitrine moet voldoen is in veel gevallen redelijk eenvoudig. Als bekend is wat de afmetingen zijn dan volgt vaak dat de vitrine (enigszins) luchtdicht moet zijn en dat de constructiematerialen geen schadelijke gassen mogen uitwasemen. Een standaardvitrine uit de catalogus volstaat dan. Maar er zijn ook uitzonderingen die ervoor zorgen dat er toch meer tijd nodig is om tot de meest optimale keuze van een vitrine te komen.

Vijfstappenplan

Het kan voorkomen dat de wensen voor een veilige presentatie van waardevolle of kwetsbare voorwerpen en de daarbij gestelde eisen van een hoogwaardige vitrine tegenstrijdig zijn. Zo bleek het bijvoorbeeld onmogelijk om een trillingvrije vitrine te realiseren zonder een rubber dat schadelijke componenten uitwasemt. In dat geval is een compromis noodzakelijk. Omdat de ontwikkeling en levering van een 'state of the art'-vitrine geen sinecure is en bovendien een kostbare kwestie, is het belangrijk zo'n investering goed te onderbouwen. Begin daarom eerst met een uitwerking van alle wensen in een Programma van Wensen (PvW), vertaal die daarna desgewenst naar prestatie-eisen en zet ze in een Programma van Eisen (PvE) op een rij.

Wie tot een goed onderbouwd Programma van Wensen of Eisen wil komen, kan in de komende paragrafen een stappenplan doorlopen. Het is een handig hulpmiddel om de voorwaarden waaraan de vitrines moeten voldoen helder voor ogen te krijgen. Ze vormen tegelijkertijd de uitgangspunten waarmee de vitrinebouwer aan de slag kan gaan.

Dit zijn de vijf stappen:

1. Waarom een vitrine?
2. Welke objecten komen in de vitrine?
3. Voor welke schadefactoren is de collectie gevoelig?
4. Welke risico's zijn er in de ruimte?
5. Welke prestatie moet de vitrine leveren?



Afbeelding 35. Een eenvoudige test met enkele losse glasplaten en een glazen bak waarmee onderzocht is hoe bezoekers een bepaalde vitrinegeometrie zouden ervaren. Links: een doos-in-doos, midden: het object ligt onder een horizontale glasplaat met daarboven een glazen kap, rechts: het object ligt onder twee horizontale glasplaten met een kleine spouw (foto's: Bart Ankersmit).

Stap 1 – Waarom een vitrine?

De reden voor het gebruik van een vitrine is helder. De tentoongestelde objecten moeten worden beschermd. Maar met de aanschaf en het plaatsen van een of meer vitrines speelt meer mee. Het is raadzaam om bij de aanschaf stil te staan bij de uitgangspunten die voor de keuze belangrijk zijn. Welke doelen worden met de vitrine(s) nagestreefd? Gaat het alleen om bescherming van de te tentoongestelde collectie of zijn esthetische aspecten ook belangrijk? Hoe belangrijk is toegankelijkheid (voor de museummedewerker en de bezoeker)? Speelt duurzaamheid een rol? Om hoeveel vitrines gaat het? Zijn ze allemaal exact hetzelfde of mogen ze onderling verschillen? Om welk type vitrine gaat het? Vrijstaand? Ingebouwd? Een tafelformaat? In welke ruimte zullen de vitrines geplaatst worden? Hoe ziet de plattegrond van de tentoonstelling eruit?

Door de beantwoording van dit soort vragen wordt een fundament gelegd voor de beslissingen die later volgen. In een enkel geval is het handig om een klein experiment uit te voeren en met behulp van tafels, (voorbeeld)-objecten en (plexi)glasplaten de verschillende mogelijkheden in praktijk te bekijken (afb. 35).

Bescherming van object én bezoeker

Er zijn verschillende redenen om voor een bepaalde vitrine te kiezen. Zo kan een vitrine een object verbijzonderen. Met een vitrine wordt hoe dan ook afstand tussen de bezoeker en het object gecreëerd. Als het object met bijvoorbeeld hoog contrasterende belichting is verlicht, wordt de presentatie theatraal. Ook komt het voor dat objecten niet makkelijk neergezet of opgehangen kunnen worden – denk aan historische huizen met waardevolle wandbespanningen. Als het bijvoorbeeld om wapens gaat, kan wetgeving eisen dat de objecten niet onder

handbereik liggen en worden er extra voorwaarden gesteld aan sloten, glas en constructie.

Bovendien kan er sprake van zijn dat niet het object, maar juist de bezoeker moet worden beschermd. Zo is de kwikfontein van Calder in het Fundació Joan Miró in Barcelona strikt gescheiden van het publiek om te voorkomen dat bezoekers blootgesteld worden aan schadelijke dampen. Ook *Fatberg*, een monsterlijke massa van 130 ton aan sanitaire producten, olie en kookvet uit het riool in London, vereiste speciale aandacht toen het Museum of London die in 2018 wilde tentoonstellen. Hoe kon het publiek beschermd worden tegen de mogelijk schadelijke gassen, dampen en bacteriën die uit zo'n object kunnen komen?³² Uiteindelijk is besloten een deel ervan in een luchtdichte doos te verpakken en die in een vitrine te tonen.

Er zijn meer objecten in erfgoedcollecties die schadelijk kunnen zijn voor het publiek, zoals objecten die asbest bevatten, geologische radioactieve mineralen, dierlijke resten van archeologische opgravingen die ziektekiemen kunnen bevatten, en objecten die met gif zijn behandeld om insectenvraat tegen te gaan. Maar in veruit de meeste gevallen worden vitrines ontworpen met het doel de objecten te beschermen tegen invloeden vanbuiten.

Het resultaat van stap 1

- Een lijst met de belangrijkste redenen om een vitrine aan te schaffen.
- Ook kunnen de verschillende doelen voor de toekomstige vitrine in volgorde van belangrijkheid worden aangegeven.
- Een visie op de investering.

³² Robinson-Calver S., A. Holbrook, V. Sparkes, 'Taming the Beast: Preservation and Display of the Whitechapel Fatberg', *Transcending Boundaries: Integrated Approaches to Conservation*, ICOM-CC 19th Triennial Conference Preprints, Beijing, 2021.

Stap 2 – Welke objecten komen in de vitrine?

In de tweede stap wordt bepaald welke objecten in de vitrine tentoongesteld zullen worden. Het aantal en het formaat bepalen het benodigde volume van de vitrine. Ook is dan bekend uit welke materialen en constructies de objecten bestaan. De materiële samenstelling en de constructie bepalen de typische gevoeligheid van de objecten voor de verschillende bedreigingen als temperatuur, vocht, licht en diefstal.

Het resultaat van stap 2

Inzicht krijgen in het benodigde volume van de vitrine(s), op basis van een lijst/tabel met daarin een opsomming van de verschillende objecten en de materialen waarvan ze zijn gemaakt.



Afbeelding 36. Tijdens de aanleg van de Noord-Zuidlijn zijn veel objecten gevonden. De archeologische dienst van de gemeente Amsterdam wilde ze graag in een vitrine laten zien aan een breed publiek. Om te bepalen welke voorwerpen in de vitrine moesten komen, is eerst een proefopstelling gemaakt (foto: Bart Ankersmit).

Stap 3 – Voor welke schadefactoren is de collectie gevoelig?

Voor de verschillende objecten die in een vitrine komen, kan worden vastgesteld in welke mate ze gevoelig zijn voor mogelijke bedreigingen. Met behulp van de tien schadefactoren kan voor elk object bepaald worden of het laag, midden of hoog gevoelig is voor de betreffende factor. Zie de publicatie 'Risicomanagement voor collecties' voor achtergrondinformatie over de schadefactoren.³³

Ook heeft de Rijksdienst voor de eigen collectie een kwetsbaarheidschecklist en -tabel ontwikkeld.³⁴ In de checklist is voor elke schadefactor een aantal voorbeeldscenario's gegeven dat helpt bij het bepalen van de mogelijke gevoeligheid van een specifiek object. Is het makkelijk verhandelbaar en/of heel kostbaar? Dan zou het hoog gevoelig voor diefstal kunnen zijn. Likt het object door zijn aard reacties uit? Zo ja, dan is het wellicht (heel) gevoelig voor vandalisme.

Groen, geel en rood

Door te denken vanuit de schadefactoren wordt een eerste inzicht gekregen. Voor de beoordeling van risico's voor niet-museale bruikleenemers (zoals een gemeentehuis, bibliotheek of bedrijf) is een tabel gemaakt met de kwetsbaarheid van verschillende materialen in de Rijkscollectie – maar die geldt ook voor andere museale collecties in Nederland. In die tabel is voor verschillende typen objecten de mate waarin ze gevoelig zijn voor een specifieke schadefactor bepaald. Met een kleurcode is aangegeven of het type object laag (groen), midden (geel) of hoog (rood) gevoelig is voor de desbetreffende schadefactor. Omdat bij de keuze voor een vitrine de schadefactor water, dissociatie en brand nauwelijks een rol spelen zijn ze in deze publicatie buiten beschouwing gelaten.

In tabel 10 is met de kleuren groen, geel en rood de gevoeligheid weergegeven van enkele typen objecten voor diverse schadefactoren. Niet alle schadefactoren werden onder de loep genomen. Voor brand en water is verondersteld dat de risico's van deze schadefactoren op gebouwniveau adequaat zijn afgedekt. Het risico op dissociatie werd bij korte bruiklenen als niet relevant

³³ Brokerhof A., B. Ankersmit, F. Ligterink, 'Risicomanagement voor collecties', A. Versloot (red.), Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (2016).

³⁴ Brokerhof A., 'Bruiklenen aan niet-museale organisaties', A. Versloot (red.), Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (2019).

gezien. Vandaar dat deze drie schadefactoren in tabel 10 ontbreken. De kwetsbaarheid van de materialen is bepaald op basis van een generieke analyse, daardoor kan voor specifieke objecten de kwetsbaarheid voor een schadefactor afwijken. Het hangt helemaal af van de specifieke materialen, de constructie en de conditie van het object. De tabel moet gezien worden als een eerste aanzet tot verdere analyse.

Het resultaat van stap 3

Een analyse van de kwetsbaarheid van de tentoongestelde objecten. In een tabel kan per object worden aangegeven in welke mate het gevoelig is voor een specifieke schadefactor.

Tabel 10. Kwetsbaarheidstabel met een overzicht van de verschillende type objecten in de collectie die de Rijksdienst beheert met een beoordeling van de meest voorkomende kwetsbaarheid voor elk type: groen= laag gevoelig, geel= middel gevoelig en rood= hoog gevoelig. (Bron: Brokerhof A., 'Bruiklenen aan niet-museale organisaties', A. Versloot (red.), Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 2019).

	Fysieke krachten	Dieven & vandalen	Ongedierte	Verontreiniging	Licht, UV, IR	Onjuiste RV	Onjuiste temperatuur
Mogelijke scenario's	Zachte oppervlakken worden bekrast, (uitsstekende) onderdelen breken af.	Object is waardevol en/of materiaal is kostbaar. Diefstal object, moedwillige beschadiging object	Organisch materiaal wordt aangetast door insecten. Ongedierte vervuult oppervlakken	Vieze of bijtende vingerafdruk of stof op en in oppervlak, aanloop of corrosie door luchtverontreiniging.	Verkleuren en/of vergaan door zonlicht, verbleken en/of vergelen door invallend daglicht, verbleken door kunstlicht, opwarming door belichting	Te lage RV leidt tot uitdrogen en barsten (panelen). Te hoge RV veroorzaakt schimmelgroei (achter object). Te grote RV-fluctuaties veroorzaken barsten in object	Te hoge temp maakt materialen zacht. Te hoge temp zorgt voor versnelde afbraak
Meubelen – antiek – gestoffeerd	rood	geel	rood	rood	rood	geel	geel
Meubelen – modern – hout	rood	geel	rood	geel	geel	geel	geel
Meubelen – modern – metaal	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel
Meubelen – modern – kunststof	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel
Glas – toegepaste kunst	rood	rood	geel	geel	geel	geel	geel
Glas-in-lood	rood	geel	geel	geel	geel	geel	geel
Tekening & prent – z/w	geel	geel	geel	rood	geel	geel	geel
Tekening & prent – kleur	geel	geel	geel	rood	rood	geel	geel
Pastels	rood	geel	geel	rood	geel	rood	geel
Foto – afdruk – z/w	geel	geel	geel	rood	geel	geel	geel
Foto – afdruk – kleur	geel	geel	geel	rood	rood	geel	rood
Schilderijen op paneel	geel	rood	geel	geel	geel	rood	geel
Schilderijen op doek	geel	rood	geel	geel	geel	geel	geel
Brons	geel	rood	geel	geel	geel	geel	geel
Zilver	geel	rood	geel	rood	geel	geel	geel
Sculptuur – hout	geel	geel	rood	geel	geel	geel	geel
Sculptuur – polychroom	geel	geel	rood	geel	geel	geel	geel
Sculptuur – kunststof	rood	geel	geel	geel	rood	geel	geel
Sculptuur – keramiek	rood	geel	geel	geel	geel	geel	geel
Moderne kunst – media – video, film	geel	geel	geel	rood	geel	rood	rood
Moderne kunst – assemblages	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel
Moderne kunst – installaties	geel	geel	geel	geel	geel	geel	geel
Textiel – tapijten	geel	geel	rood	geel	rood	geel	geel
Textiel – zijde, kleding	geel	geel	rood	rood	rood	geel	geel

Stap 4 – Welke risico's zijn er in de ruimte?

De potentiële blootstelling in een ruimte zonder beschermende vitrine biedt inzicht in welke bescherming de vitrine moet gaan bieden om de risico's op een acceptabel niveau te brengen. In de publicatie 'Bruiklenen aan niet-museale organisaties' staat op pagina 21 een tabel met een algemene kwalificatie van de beschermingsniveaus van diverse situaties.³⁵ De tabel is een eerste aanzet tot analyse en kan helpen met de beoordeling van een specifieke situatie. Voor diefstal en klimaat zijn de beschermingsniveaus verder uitgewerkt in een Engelstalige publicatie.³⁶

Voor elke schadefactor is het noodzakelijk vast te stellen of de blootstelling in de beoogde ruimte een laag, middel of hoog risico met zich meebrengt. Deze stap vraagt om een analyse van het gebouw, de klimaatinstallatie, de ruimte(n) en het gebruik ervan. Zo zullen vertrekken waar met regelmaat recepties worden gehouden een ander risicoprofiel opleveren dan strikt museale tentoonstellingszalen. In de publicatie 'Risicomanagement voor collecties' wordt achtergrondinformatie gegeven die behulpzaam kan zijn in deze analyse.³⁷

De belangrijkste schadefactoren die in de fase in ogeschouw moeten worden genomen, zijn: diefstal & vandalisme, verontreinigingen en klimaat. Het risicoprofiel van de ruimte voor diefstal & vandalisme zal vooral afhangen van de mate van toezicht. Hoe snel wordt een ongeoorloofde toegang tot de vitrine waargenomen en hoe snel is de respons? Wat zijn de verwachtingen ten aanzien van vandalisme? Is er een reden waarom bepaalde mensen aanstoot kunnen nemen aan het getoonde werk? Is het een object dat direct veel aandacht oplevert? Zo zijn de vitrines voor de manuscripten van Anne Frank voorzien van hoogwaardig veiligheidsglas, omdat het risico op een aanslag als significant werd beoordeeld.

Voor verontreinigingen zal vaak gelden dat een bescherming tegen luchtvervuiling van buiten gewenst is. De binnenruimten van niet-geklimatiseerde, enigszins lekke gebouwen staan in contact met de buitenlucht. Stof, verontreinigingen en de absolute luchtvochtigheid in de ruimte zijn direct gerelateerd aan de concentraties in de buitenlucht.

Tabel 11 Voorbeelden van eisen die aan een vitrine gesteld kunnen worden voor verschillende schadefactoren.

	Mogelijke eisen voor de vitrine
Fysieke krachten	Stevig en stijf Onzichtbaar afgesloten voor bezoekers
Dieven & vandalen	Voorzien zijn van inbraakwerend glas Voorzien van trilling- en/of glasbreukdetectie De sloten mogen niet voor bezoekers zichtbaar en toegankelijk zijn De sloten moeten voldoende stevig zijn tegen inbraak Glas is breekbestendig tegen aanvallen met een hamer
Ongedierte	Ontoegankelijk zijn voor insecten
Verontreiniging	Gassen uit de ruimte mogen niet naar binnentreden (luchtdicht zijn) Gebruik inerte materialen voor de constructie van de vitrine
Licht, UV, IR	Geen warmte afgevend verlichting in de vitrine Verlichting met een gecontroleerde (regelbare) lichtintensiteit Het glas moet voorzien zijn van UV-filters om ver- of ontkleuring van objecten te voorkomen
Onjuiste RV	Zo min mogelijk uitwisseling van lucht met de ruimte (luchtdicht zijn) Voorzien van vochtbufferend materiaal Actief geklimatiseerd met be- en/of ontvochtiging Geen interne warmtebronnen in of onder de vitrine
Onjuiste temp	Geen warmte producerende verlichting in de vitrine

Voor de luchtverontreiniging die een gebouw inkomt, is de vuistregel 100:10:1 bruikbaar om zo de concentratie in de ruimte en in een vitrine te schatten.³⁸ Als bijvoorbeeld in de buitenlucht de concentratie ozon 100 ppb is, dan is een grove aanname dat in het gebouw een concentratie van circa 10 ppb zal heersen en in een min of meer gesloten vitrine 1 ppb. Concentraties van verschillende gassen die in de buitenlucht voorkomen, worden door het Luchtmeetnet elk uur op verschillende locaties gemeten.³⁹

Voor voorwerpen die heel gevoelig zijn voor een verkeerde relatieve luchtvochtigheid is het zaak om zicht te hebben op het heersende binnenklimaat.⁴⁰ Voor een zeer strikt geklimatiseerde omgeving met klimaatinstallaties inclusief hoogwaardige luchtfiltering zullen de risico's van het binnenklimaat en aanwezigheid van luchtverontreiniging over het algemeen klein zijn. Voor niet-geklimatiseerde zalen met infiltratie van buitenlucht kan het risico op vervuiling en een onjuist klimaat wél een (grote) rol spelen. Door schommelingen van de temperatuur zal de vitrine blootgesteld worden aan

³⁵ Brokerhof A., 'Bruiklenen aan niet-museale organisaties', A. Versloot (red.), Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (2019).

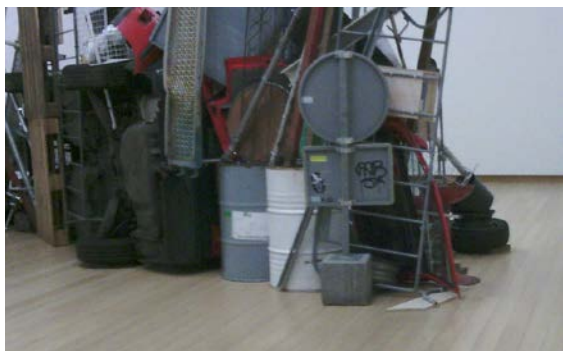
³⁶ Brokerhof A., 'Loans to non-museum organisations: Concepts for crossing boundaries', ICOM-CC 19th Triennial Conference Preprints, Beijing, 2021, J. Bridgland (ed.), Paris: International Council of Museums.

³⁷ Brokerhof A., B. Ankersmit, F. Ligterink, 'Risicomanagement voor collecties', A. Versloot (red), Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (2016), 28-31.

³⁸ Tetreault J., 'Control of Pollutants in Museums and Archives', *Technical Bulletin* 37, Canadian Conservation Institute (2023).

³⁹ <https://www.luchtmeetnet.nl/>

⁴⁰ Ankersmit B., M. Stappers, 'Meten van het binnenklimaat – de voorbereiding', Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (2022) 14.



Afbeelding 37. Objecten op een vloer met vloerverwarming dekken de vloer op die plek af. Hierdoor zal de temperatuur onder het object (of in de vitrine) stijgen (foto's: Bart Ankersmit).

drukverschillen. Dan kan het nodig zijn om na te denken over de luchtdichtheid en misschien zelfs wel de toepassing van vochtbuffers of een klein actief systeem.

Als in een ruimte vloerverwarming aanwezig is, zal er sprake zijn van temperatuurgradiënten. De oppervlakte-temperatuur van de vloer is hoger dan de luchttemperatuur. Als op de vloer een vitrine en/of object wordt neergezet, zal de temperatuur onder het object hoger worden, omdat de vloer door het voorwerp geïsoleerd wordt (afb. 37). Als een vitrine met zijn bodem op de vloer staat, kunnen die temperatuurgradiënten zich ook in de vitrine manifesteren. De temperatuurgradiënten resulteren in verschillen van de relatieve luchtvochtigheid.⁴¹

Het resultaat van stap 4

Een analyse van het gebouw en de ruimte. Zo ontstaat een overzicht van de risico's waaraan de objecten worden blootgesteld als ze zonder vitrine in de beoogde ruimte worden tentoongesteld.

Stap 5 – Welke prestatie moet de vitrine leveren?

De combinatie van de resultaten van stap 3 en 4 geeft inzicht in de prestatie die de vitrine moet gaan leveren. Als de gevoeligheid en de potentiële blootstelling in een ruimte zonder vitrine beide hoog zijn, dan zou de eerste stap zijn om te kijken of de bron kan worden weggenomen. Als dat onmogelijk blijkt, dan moet voorkomen worden dat de bron het object bereikt. De blootstelling wordt dan verlaagd door met een vitrine dat pad te blokkeren. Daarvoor moet de vitrine aan specifieke eisen voldoen. In tabel 11 zijn per schadefactor enkele oplossingen toegelicht. Bij de productie van een vitrine worden veel verschillende materialen gebruikt. Om onderdelen te verbinden, zijn lijmen, kits en rubbers vaak noodzakelijk en worden oppervlakken geleverd. Het verdient aanbeveling om de (constructie)materialen waarvan onbekend is hoe die zich door de tijd heen zullen gedragen door de leverancier te laten testen.⁴²

Het resultaat van stap 5

Inzicht in de gewenste prestatie van de vitrine

⁴¹ Neuhaus E., B. Ankersmit, 'Onderzoek naar hygrothermische gradiënten. Vloerverwarming in musea', *TVVL Magazine* 11 (2011) 2-7.

⁴² https://www.conservation-wiki.com/wiki/Materials_Testing_Results

Stappen	Resultaat	PvW / PvE
<p>Stap 1 Waarom een vitrine?</p>	<p>Visie op:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Budget - Aantal vitrines - Locatie van plaatsing - Type vitrine(s) - Toegankelijkheid - Esthetiek van tentoonstelling 	<p>Context:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aantal vitrines - Locatie van plaatsing - Plattegrond van gebouw - Plattegrond van ruimte - Tentoonstellingsontwerp - Beschrijving objecten in aantal en type - Gebouwinstallaties - Type vitrine
<p>Stap 2 Welke objecten?</p>	<p>Concretisering van:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aantal objecten per vitrine - Type materialen 	<p>Vitrine prestatie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Materialen (inert of niet) - Type glas - Infiltratiefout - Klimaatbeheersing - Monitoring RV/T - Detectie glasbreuk & trillingen - Sluitingsmechanisme - Type sloten - Verlichting (in- en extern)
<p>Stap 3 Waarvoor gevoelig?</p>	<p>Analyse:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gevoeligheid van de objecten - Vaststellen van relevante schadefactoren 	
<p>Stap 4 Waaraan blootgesteld?</p>	<p>Analyse:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gebouw en installatie - Vaststellen van relevante risico's 	
<p>Stap 5 Welke prestatie?</p>	<p>Concretisering van:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beschermingsniveau veiligheid - Detectie glasbreuk & trillingen - Luchtdichtheid - Klimaatbeheersing - Monitoring RV/T 	

Afbeelding 38. Overzicht van de stappen met de resultaten en welke informatie in het Programma van Wensen (PvW) en/of het Programma van Eisen (PvE) worden opgenomen.

Een archeologische collectie in een metrostation

Tijdens de aanleg van de Noord-Zuidlijn in Amsterdam tussen 2002 en 2018 zijn 700.000 archeologische voorwerpen gevonden. Om de burgers, bezoekers en metrogangers met dit unieke erfgoed op een laagdrempelige manier in contact te brengen, werd besloten twee vitrines in het metrostation Rokin te Amsterdam te realiseren (stap 1). De archeologische dienst maakte een selectie (stap 2) door vergelijkbare voorwerpen op platen te leggen. De vitrines zijn tussen de roltrappen aan de zuid- en noordingang gemonteerd. De vondsten zijn vastgemaakt op 26 mm dikke multiplex panelen. De vitrine bij de noordingang is 12 m lang en 3,34 m breed, die aan de zuidkant 14 m lang en 3,59 m breed (afb. 39).

De collectie, met onder andere bijlen uit de steentijd, middeleeuwse boothaken, 17^{de}-eeuwse stroopkannen en een verloren moderne bril, bestaat uit een enorme variatie aan materialen. Van glas en keramiek, tot metaal en plastics. Duidelijk was dat de belangrijkste schade-

factoren die voor deze vitrines onder controle moesten worden gehouden, niet voortkwamen uit het perspectief van verval van het materiaal, maar uit verval van de presentatie door vuil (stap 3). In het metrostation mag worden verwacht dat de lucht veel fijn- en grofstof bevat door de stedelijke locatie, de metro's en de vele gebruikers van de lijn (stap 4).

Omdat het reinigen van de objecten op deze locatie problematisch is, werd voorgesteld dat de vervuiling van de voorwerpen niet zichtbaar mocht zijn in 30 jaar. Ook bestond de wens dat de objecten in een min of meer stabiel klimaat gedurende 30 jaar getoond zouden worden (stap 5). De vitrines worden – met een kleine luchtbehandelingsinstallatie – voorzien van geconditioneerde lucht, waardoor de vitrines in een lichte overdruk staan ten opzichte van de omgeving. Door de overdruk kan worden voorkomen dat vervuilde lucht uit de metrobuizen de vitrine binnenkomt.



Afbeelding 39. Vitrine op het metrostation Rokin in Amsterdam met een selectie van archeologische vondsten, opgegraven tijdens de aanleg van de Noord-Zuidlijn (foto: Bart Ankersmit).



Vitrine met snaarinstrumenten in de vaste tentoonstelling in het Rijksmuseum, 1939 (foto: Rijksmuseum).

Vitrines verouderen met de tijd. Niet alleen de vormgeving kan soms sterk gedateerd aandoen, ook de constructieve kwaliteit van een vitrine zal in de tijd afnemen. Bepaalde materialen, zoals rubbers en lijmen, gaan in kwaliteit achteruit, waardoor de luchtdichtheid van de vitrine sterk vermindert. Scharnierende deuren zullen minder goed aansluiten en schuivende panelen zullen minder makkelijk van hun plaats te schuiven zijn. Ook kunnen verlijmdde verbindingen hun kracht verliezen, waardoor de vitrine minder stabiel en veilig wordt (afb. 40).

Genoeg redenen dus om de vitrines te controleren en bij grote schades nieuwe exemplaren te overwegen.

Nieuwe vitrines worden geleverd met garantie. Die garantie kan per leverancier verschillen, maar over het algemeen wordt die aangeboden voor de duur van één jaar. Bij nieuwe vitrines is ook een onderhoudscontract mogelijk. Omdat onderdelen van vitrines slijten, is het raadzaam om met enige regelmaat de conditie van de vitrines te beoordelen. Bij die controle worden systematisch alle aspecten van de vitrine bekeken (zie tabel 12). Er wordt bekeken of de onderdelen nog voldoen aan de gewenste kwaliteit of dat iets gerepareerd of vervangen moet worden.

Op basis van de beoordeling kan een vitrineleverancier een offerte opstellen voor het onderhoud. Als onderhoud uitblijft, kan de tentoonstelling er na verloop van tijd versleten uitzien en leveren de vitrines mogelijk niet meer de gewenste prestatie. Voor zeer luchtdichte systemen geldt ook nog dat bij elke keer dat die geopend worden de kwaliteit van de dichtingen afneemt.

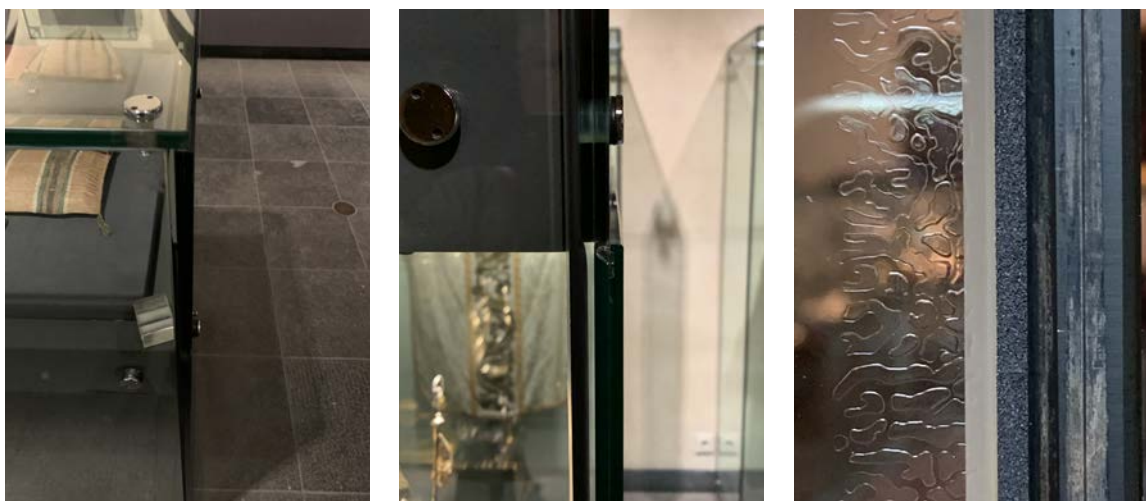
Tabel 12. Beoordeling van de conditie van een vitrine.

Onderdeel	Detail
Constructie	Stabiliteit Voetstuk Plint Luchtdichtheid
Glas	Conditie glas Conditie verf op glas Conditie hechting glas in constructie
Deuren	Scharnieren Sluiting
Veiligheid	Sloten Detectiesystemen
Binnenkant	Planken Verf Afwerkingen Verlichting
Klimaatcontrole	Detectie (kalibratie) Klimaatbeheersing apparaten

Het is niet altijd mogelijk om nieuwe vitrines aan te schaffen. Het benodigde budget is niet beschikbaar of de vitrine is onvervangbaar, omdat die bijvoorbeeld van een hoge culturele waarde is. In het Rijksmuseum zijn na de renovatie enkele originele Cuypers-vitrines weer in gebruik genomen (afb. 41).

Afsluitend

Onderhoud begint vaak met de optimalisering van de structurele aspecten, zoals de reparatie/restauratie van vervormingen, verbetering van een aansluiting en het eventueel opnieuw aanbrengen van lijmverbindingen en



Afbeelding 40. Drie schades aan een vitrine. Links: de lijm van het blokje waarmee de glasplaten aan elkaar waren verbonden, is verouderd waardoor die heeft losgelaten. Midden: de scharnierende deur is gaan wijken, waardoor een kier is ontstaan. Rechts: de folie tussen de glasplaten is verouderd, waardoor die esthetisch minder aantrekkelijk is (foto's: Bart Ankersmit).

rubbers. Als de hoofdstructuur van een vitrine naar wens is, kan daarna gekeken worden of de vitrine luchtdichter te maken is. Om de indringing van stof te reduceren zijn borstelaafdichtingen mogelijk. Het infiltratievoud kan verder verlaagd worden door (in plaats voor borstels) te

kiezen voor (zelfklevende) compressiedichtingen. In een uiterst geval kan er zelfs gekozen worden om kieren af te dichten met plakband. Zo kan met gericht herstel een oude vitrine nog jaren mee.



Afbeelding 41. Een van de door Cuypers ontworpen vitrines in het Rijksmuseum (foto: Bart Ankersmit).

Een vitrine voor een compleet huis

Alle bebouwing van Kamp Westerbork is in de jaren zestig en zeventig afgebroken, alleen de voormalige woning van de kampcommandant resteert. Het enige bouwwerk dat nog herinnert aan het *Durchgangslager* in de Tweede Wereldoorlog, werd in 2010 gerenoveerd en beschermd. Over de woning is een glazen overkapping van 12 m hoog, 25 m breed en 40 m lang geplaatst (afb. 42). Die heeft tot doel:

- de vochtigheid van het hout te verminderen om te voorkomen dat rot optreedt, het voorkomen van contact met regenwater en optrekkend vocht lost dit probleem op;
- schimmel te voorkomen door de relatieve luchtvochtigheid (gemiddeld) onder de 70% te houden;
- zeer lage relatieve luchtvochtigheden te voorkomen, zodat de houten constructie niet vervormt;
- vorstschade aan het huis te voorkomen door de temperatuur boven het vriespunt te houden.

Om te voorkomen dat de ruimte onder de glazen overkapping in de zomer te heet wordt, is de ventilatie op een natuurlijke manier geregeld. Door enkele glasplaten te vervangen door roosters is de opwarming in de vitrine maximaal 10°C hoger dan erbuiten.

In de woning zelf en in de glazen ruimte eromheen zijn verwarmingssystemen geplaatst. In de woning is dat een computergestuurd systeem – dat reageert op een gecombineerde temperatuur- en relatieve luchtvochtigheidssensor. Het doel is hier alleen een verlaging van de RV als dat nodig is. Buitenshuis kan de ruimte ten behoeve van bepaalde evenementen onder de glazen overkapping verwarmd worden tot comfortniveau.



Afbeelding 42. De houten woning van de kampcommandant van Kamp Westerbork heeft ruim 70 jaar lang het Nederlands klimaat doorstaan en is vanaf 2015 door een glazen overkapping beschermd tegen weersinvloeden (foto: Bart Ankersmit).



Warmte ontwikkelende verlichting heeft tot gevolg dat de relatieve luchtvochtigheid fluctueert. Bij het aandoen van de lampen stijgt de temperatuur en daalt de relatieve luchtvochtigheid, als de verlichting weer uitgaat, daalt de temperatuur en stijgt de relatieve luchtvochtigheid (foto: Bart Ankersmit).

9 Vitrine in een lijst: de microklimaatdoos

Al in de 18^{de} en 19^{de} eeuw werden speciale voorwerpen beschermd tegen invloeden vanbuitenaf. Zo werden pastels, met krijt bedekt papier of perkament, in een luchtdichte doos gedaan om te voorkomen dat deze kwetsbare werken te snel vervuilden en door handen aangeraakt konden worden. De voorzijde was afgesloten met glas en aan de achterzijde werd een plaat aangebracht. Doordat de doos verschillende bufferende materialen bevatte, waren de pastels aan veel minder én kleinere fluctuaties van relatieve luchtvochtigheid blootgesteld.

Daguerreotypieën zijn verzilverde koperen platen waarvan het oppervlak heel gevoelig is voor slijtage, vervuiling en aanlopen. Om die reden werden ze in het midden van de 19^{de} eeuw al verpakt in luchtdichte doosjes. Zo bleven de geportretteerden lange tijd zichtbaar (afb. 42). Ook andere voorwerpen, zoals diorama's, papierknipsels en insectenladen in natuurhistorische collecties, die lastig schoon te maken zijn, werden vroeger al zo snel mogelijk beschermd in een minivitrine (afb. 43).

In Tate Britain

Als gevolg van de industrialisatie en de verbranding van grote hoeveelheden steenkool was de buitenlucht in Londen vroege 19^{de} eeuw sterk vervuild. Die verontreiniging sloeg ook neer op de voorwerpen in musea. In 1850 werd een commissie ingesteld om te onderzoeken hoe de

olieverfschilderijen in de collectie van de National Gallery in Londen beter konden worden beschermd.^{43,44}

Het plan was om beglazing voor de schilderijen aan te brengen. Aanvankelijk kon dat voorstel rekenen op weerstand. Veel mensen waren bang voor een verminderd zicht op de werken waardoor hun beleving zou afnemen. Omdat kunstenaars destijds speciale rechten hadden op toegang tot de collectie – voor het kopiëren van de werken – werd besloten om aan de beheerder van de collectie, Sir Charles Eastlake, te vragen flexibele beglazing aan te brengen. Die Eastlake-microklimaatdozen waren in feite de eerste microklimaatssystemen ooit. En ze zijn nog steeds in gebruik in het museum (afb. 44).

Nieuw ontwerp

Het duurde een tijd voordat de ontwikkeling van vitrines rondom het object hernieuwde aandacht kreeg in het conserveringsonderzoek. In 1987 ontwierp Brian Ramer als docent preventieve conservering, werkzaam bij ICCROM in Rome, een speciale vitrine waarin een paneel-



Afbeelding 43. Links: daguerrotypie met een portret van een fotograaf en zijn foto's (foto: Wikipedia). Rechts: het uit papier geknipte boeket werd al in 1823 achter glas in een rechthoekige, gouden lijst geplaatst (foto: Rijksmuseum).

⁴³ Eastlake C. L., M. Faraday, W.S. Russell, 'Report of the Commission Appointed to Inquire into the State of the Pictures of the National Gallery' (1850). In: Staniforth S. (ed.), *Historical Perspectives on Preventive Conservation, Readings in Conservation*, Getty Publications, Los Angeles (2013) 270-275.

⁴⁴ Hackney S., 'The evolution of a conservation framing policy at Tate', *Museum Microclimates, Contributions to the conference in Copenhagen 19-23 November* (2007) 229-235.



Afbeelding 44. Het schilderij *Whales exhibited* (1845) van William Turner in Tate Britain, tentoongesteld in een Eastlake-microklimaatdoos die het doek al vanaf 1853 beschermt tegen invloeden vanbuiten. Rechts: een detail van de sluiting/opening in de lijst, waardoor de inzet kan worden verwijderd en het schilderij bereikbaar is (foto's: Seojin Kim).

schilderij met silica gel gezet kon worden.⁴⁵ Die plexi-glazen kast werd om het schilderij geplaatst en bleek grote esthetische nadelen te hebben.

Enkele jaren later ontwikkelde het Rijksmuseum een microklimaatvitrine.⁴⁶ Dat ontwerp had het grote voordeel dat die in een schilderijlijst kon worden gezet en daardoor meer onzichtbaar werd voor de museumbezoeker. Het schilderij was aan de achterzijde afgedekt met een aluminiumplaat. In de loop der jaren is deze microklimaatvitrine verder ontwikkeld tot een zogenoemde microklimaatdoos. In Nederlandse musea wordt die veel toegepast voor vooral kwetsbare en (zeer) waardevolle schilderijen.

Waarom is een microklimaatdoos effectief bij de stabilisering van de relatieve luchtvochtigheid?

In een microklimaatdoos wordt over het algemeen een object dat klimaatgevoelig is, beschermd tegen fluctuaties van de relatieve luchtvochtigheid. Het gaat om een hygroscopisch materiaal dat verpakt wordt in een zo klein mogelijk volume. Bij bestudering van de vochthoudding in zo'n verpakking kunnen verschillende materialen worden onderscheiden die elk een hoeveel-

heid vocht bevatten. In de microklimaatdoos zit bijvoorbeeld lucht en het object bestaat uit bijvoorbeeld papier, hout, karton, textiel of leer. Bij een bepaalde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid zullen al die materialen een hoeveelheid vocht bevatten.

Lucht bevat bij een relatieve luchtvochtigheid van 50% en een temperatuur van 20°C 8,6 g/m³ vocht, onder diezelfde omstandigheden bevat hout 40-50 g/m³ en papier 30-90 g/m³. Oftewel, het meeste vocht in een microklimaatdoos zit in het object en de materialen waaruit de microklimaatdoos is opgebouwd (zie tabel 13).

Als de lijst wordt voorzien van een voor vocht ondoordringbare aluminium tape (afb. 42) dan werkt de lijst niet mee in de stabilisering van de vochthoudding en ook zal het geen vocht doorlaten (permeatie). De vochthoudding tussen lucht en hygroscopisch materiaal bij een vergelijkbaar volume is al snel 1:100. Als de massa van het object veel hoger is dan de massa van het andere hygroscopische materiaal kan worden geconcludeerd dat het object als het ware zichzelf buffert bij veranderende temperaturen.

Als in de ruimte de temperatuur hoger wordt, bijvoorbeeld met 5°C doordat de zon de ruimte opwarmt, dan verandert de vochthoudding ook. De lucht zal door de 5°C opwarming en bij gelijkblijvende absolute luchtvochtigheid in de microklimaatdoos een relatieve luchtvochtigheid van circa 35% krijgen, maar dit verschil wordt gebufferd door het aanwezige materiaal dat vocht zal afgeven. Om weer terug te keren bij 50%/25°C, met een absoluut vochtgehalte van 11,5 g/m³ moet dus 11,5 - 8,6 =

⁴⁵ Ramer B., 'The design and construction of two humidity-controlled display cases'. ICOM Committee for Conservation preprints, 7th Triennial Meeting, Copenhagen (1984) 4.17.46-47.

⁴⁶ Sozzani L.S.G., 'An economical design for a microclimate vitrine for paintings using the picture frame as the primary housing', *Journal of the American Institute for Conservation*, 36:2 (1997) 95-107.

Tabel 13. De verhoudingen van de vochthuishouding in een microklimaatdoos.

Materiaal	Gemiddelde vochtgehalte (50%/20°C)	Microklimaatdoos	
		hoeveelheid materiaal	hoeveelheid water
Lucht	8,6 g/m ³	50x50x0,5 cm lucht = 0,0125 m ³	0,11 gram water
Eiken	45.000 g/m ³	50x50x2 cm hout = 0,05 m ³	230 gram water
Karton	60.000 g/m ³	50x50x0,02 karton = 0,005 m ³	300 gram water

2,9 g/m³ worden gecompenseerd. De microklimaatdoos, in dit voorbeeld, heeft een intern volume van 0,0125 m³, dus concreet moet dan $2,9 \times 0,0125 = 0,04$ gram vocht worden uitgewisseld om een temperatuurverschil van 5°C te bufferen. Dat is een minuscuul klein beetje.

Hoe maak je een microklimaatdoos?

Hieronder volgt een beknopt overzicht van de stappen die nodig zijn om een microklimaatdoos in de schilderijlijst aan te brengen (afb. 45). Voor meer inhoudelijk informatie, zie de brochure 'De microklimaatdoos' op de website van de Rijksdienst.⁴⁷

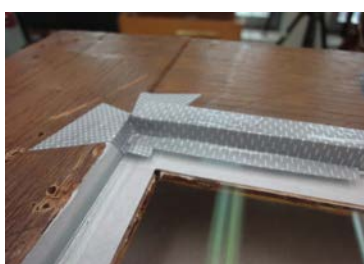
⁴⁷ <https://www.cultureelerfgoed.nl/publicaties/publicaties/2004/01/01/de-microklimaatdoos>

Aandachtspunten voor het gebruik van een microklimaatdoos

Een microklimaatdoos biedt bescherming tegen verschillende klimaatrisico's. Onderzoek heeft aangetoond dat microklimaatdozen heel effectief zijn in het dempen van schommelingen van de ruimtelijke relatieve luchtvochtigheid. Fluctuaties van de temperatuur worden niet minder, omdat de microklimaatdozen over het algemeen geen thermische weerstand en thermische massa hebben. Als in de ruimte de temperatuur schommelt, zal het object die temperatuurschommeling ook ervaren. Let wel: de schommeling van de relatieve luchtvochtigheid die een gevolg is van temperatuurschommeling blijft in de microklimaatdoos minimaal.



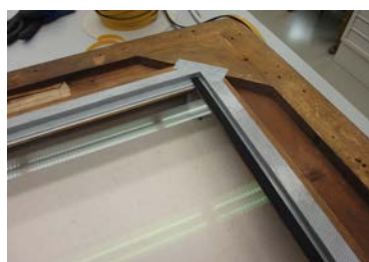
1. De lijst wordt schoongemaakt en in de sponning wordt zelfklevende vilt aangebracht.



2. UV-werend glas wordt in de lijst geplaatst en met aluminium tape wordt de glasplaat luchtdicht aan de houten lijst bevestigd.



3. Met behulp van de aluminium tape wordt voorkomen dat lucht via de voorzijde langs de glasplaat naar binnen kan lekken.



4. Op de glasplaat wordt een strook zelfklevende neopreen aangebracht



5. Het schilderij, hier een paneel, wordt op het neopreen gelegd. Op de lijst kan afhankelijk van de hoogte van het schilderij een extra lijst van balsahout worden aangebracht.



6. Het schilderij wordt met klemmen op zijn plaats gehouden. Op het balsahout wordt kanaalplaat aangebracht. Die wordt met aluminium tape luchtdicht afgeplakt.

Afbeelding 45. Het proces om in een schilderijlijst een microklimaatdoos te realiseren (foto's: Bart Ankersmit).

Als een object in een microklimaatdoos wordt blootgesteld aan hoge temperaturen dan neemt het risico op emissie van vetzuren uit olieverf, zoals palmitaten en stearaten, toe. Die zuren kunnen op het glas worden afgezet, waardoor een negatief van de afbeelding op het schilderij ontstaat. Omdat donkere verven over het algemeen meer bindmiddelen bevatten en minder vetzuur-reactieve, anorganische pigmenten is dat effect meer uitgesproken voor donkere delen. Daar komt nog bij dat donkere delen ook meer infraroodstraling absorberen en daardoor warmer worden bij blootstelling dan lichtgekleurde oppervlakken. Ook verse verven, zoals retouches, vormen een hoger risico bij dit soort emissies.⁴⁸

Seizoensfluctuaties

De relatieve luchtvochtigheid zal als gevolg van het kleine volume en de hygroscopische massa onder invloed van temperatuurwisselingen stabiel blijven. Als in een ruimte de relatieve luchtvochtigheid kort schommelt en de temperatuur stabiel blijft, zal de relatieve luchtvochtigheid in de doos over het algemeen niet fluctueren. De mate waarin ruimtelijke vochtverschillen worden doorgegeven, hangt af van de infiltratievoud van het systeem. Als de doos heel gesloten is, worden zelfs ruimtelijke seizoenfluctuaties gedempt.

Als er sprake is van incidentele lokale warmteoverdracht door straling, bijvoorbeeld omdat er direct zonlicht op het object valt, dan kunnen grote temperatuurgradiënten in de microklimaatdoos worden verwacht.⁴⁹ Experimenten waarbij pastels aan een koude wand waren opgehangen en daarna werden bestraald met een infrarood lamp (om daarmee het oppervlak op te warmen), toonden aan dat een korte blootstelling aan die warmte een snelle lokale verwarming in de doos veroorzaakte.

Die temperatuurgradiënten resulteerden in significante verschillen in relatieve luchtvochtigheid aan het oppervlak. Na 30 minuten blootstelling van de pastel aan infraroodstraling was het temperatuurverschil tussen een zwart en een wit oppervlak toegenomen tot 6°C, met een overeenkomstige relatieve vochtigheidsgradiënt van 13%. Het verschil in relatieve luchtvochtigheid tussen het zwarte vlak op het pastel en de koude achterzijde van de microklimaatdoos was nog groter. De warmteverschillen die door infraroodstraling kunnen ontstaan kunnen dus leiden tot (grote) verschillen in vochtgehalte.

Naar dit effect is meer onderzoek gedaan en daarbij is een model opgesteld waarmee voorspellingen gedaan kunnen worden over de relatieve luchtvochtigheidsverschillen die kunnen ontstaan als gevolg van stralings-effecten.⁵⁰

Om de risico's van fluctuaties van relatieve vochtigheid en temperatuur in microklimaatdozen te minimaliseren, is het noodzakelijk:

- het transport van lucht in en uit de microklimaatdoos zoveel mogelijk te beperken door die zo luchtdicht mogelijk te maken;
- het (lucht)volume van de microklimaatkast zo klein mogelijk te houden;
- eventueel extra hygroscopisch materiaal toe te voegen;
- (sterke) temperatuurgradiënten, veroorzaakt door lokale warmte- en/of koudebronnen in de directe omgeving van de microklimaatdoos, te voorkomen. Als de doos aan een ongeïsoleerde buitenmuur hangt, is het de moeite waard afstandshouders tussen de doos en buitenmuur te plaatsen. Met een spouw van 8 cm wordt voorkomen dat de muur achter het object in de winter zodanig afkoelt dat het een significant risico vormt.

⁴⁸ Schilling M.R., D.M. Carson, H.P. Khanjian, 'Evaporation of fatty acids and the formation of ghost images by framed oil paintings', *Newsletter* (Western Association for Art Conservation) 21 (1999) 17-19.

⁴⁹ Ankersmit B., W. Kragt, I. van Leeuwen, C. Gombaud, 'The climate in pastel microclimate cardboard boxes when exposed to fluctuating climates', ICOM Committee for Conservation, Bridgland J (ed.) ICOM-CC 16th triennial conference Lisbon 19-23 September 2011: preprints.

⁵⁰ Padfield, T., H. Berg, N. Dahlstrom, & A.-G. Rischel, 'How to protect glazed pictures from climatic insult', in ICOM-CC 13th Triennial Meeting Preprints, Rio de Janeiro, 22-27 September 2002, R. Vontobel (ed.), (2002) 80-85; F.J. Ligerink & G. Di Pietro, 'Canvas paintings on cold walls: relative humidity differences near the stretcher', *Museum Microclimates: Contributions to the Copenhagen Conference, 19-23 November 2007*, T. Padfield, K. Borchersen, & M. Christensen (eds.), (2007) 27-38.

Speciale microklimaatdozen voor een speciale collectie

Ten behoeve van de herinrichting van het Rijksmuseum is onderzoek gedaan naar de optimale microklimaatdoos voor de pastels (afb. 46).⁵¹ Dat werd gedaan omdat pastels gevoelig zijn voor fluctuaties van de relatieve luchtvochtigheid. Pastelkorrels aan het oppervlak kunnen eenvoudig loskomen als de drager vaak van volume verandert door fluctuaties van vocht.

Voor het onderzoek werden mockup pastels in verschillende typen microklimaten geplaatst en onderworpen aan fluctuaties van de relatieve luchtvochtigheid en temperatuur. Hoewel de dozen waren blootgesteld aan grote ruimtelijke schommelingen bleef de relatieve luchtvochtigheid in het microklimaat stabiel. Op basis van infiltratievoldmetingen werd de luchtdichtheid met zelfklevende aluminiumtape geoptimaliseerd.

Deze doos werd vervolgens blootgesteld aan fluctuaties van vocht, temperatuur en stralingswarmte. Uit de experimenten werd meteen duidelijk dat als de temperatuur of de relatieve luchtvochtigheid van de lucht buiten de doos fluctueert dat geen invloed had op het klimaat in de doos. Toen de doos werd bestraald met infraroodwarmte ontstonden er wel temperatuur- en vochtverschillen in de microklimaatdoos.

Als gevolg van de straling was het object niet in gelijke mate opgewarmd, de donkere delen van de pastel werden warmer dan de lichtere delen en de achterzijde van de microklimaatdoos bleef het koelst. Zo ontstonden significante verschillen in de lokale relatieve luchtvochtigheid. Uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat luchtdichte microklimaten met hygrische massa heel goed in staat zijn om een zeer stabiele relatieve lucht-



Afbeelding 46. Pastels in het Rijksmuseum (foto: Bart Ankersmit).

vochtigheid rondom het object te bieden. Ook als de doos in een instabiel binnenklimaat hangt. Maar als de doos in direct zonlicht hangt, ontstaan lokale verschillen in temperatuur en relatieve luchtvochtigheid die heel schadelijk (kunnen) zijn.

⁵¹ Ankersmit B., W. Kragt, I. van Leeuwen, C. Gombaud, 'The climate in pastel microclimate cardboard boxes when exposed to fluctuating climates', ICOM Committee for Conservation, Bridgland J (ed.) ICOM-CC 16th triennial conference Lisbon 19-23 September 2011: preprints.



Een ronde art-nouveauvitrine in het Rijksmuseum in 1972 (foto: Rijksmuseum).

Gelukkig is het vaak glashelder waaraan een vitrine moet voldoen en volstaat een standaardoplossing. Maar voor systemen met hogere kwaliteitseisen dan standaard kunnen de argumenten lastiger zijn. Het opstellen van een Programma van Wensen of zelfs Eisen kan dan uitkomst bieden. Maar dat vraagt kennis over materialen, fysica en mogelijke maatregelen. Met deze brochure is getracht enkele handvatten en achtergrondinformatie te bieden om samen met een team van museummedewerkers, de tentoonstellingsontwerper en de vitrinebouwer tot een optimaal eindresultaat te kunnen komen.

Mede op basis van de in deze brochure verstrekte informatie kan op hoofdlijnen gesteld worden dat een vitrine voor musea en erfgoedorganisaties enkele hoofdkenmerken heeft:

- het formaat van de vitrine is zodanig dat de objecten die erin moeten komen op een goede manier passen;
- de materialen waaruit de vitrine is opgebouwd veilig zijn voor de voorwerpen die erin komen;
- de vitrine is goed toegankelijk en de objecten kunnen makkelijk geplaatst worden;
- de vitrine is makkelijk te openen door medewerkers, maar niet door bezoekers;
- de vitrine is makkelijk schoon te maken;

- de vitrine biedt een veilige schil tegen diefstal en vandalisme;
- de vitrine biedt mogelijk ook een veilige schil tegen omgevingsfactoren in de ruimte, denk hierbij aan stof, schadelijke gassen en een ongunstig binnenklimaat;
- een passief geklimatiseerde vitrine is duurzamer dan een actief geklimatiseerde vitrine.

In het ontwerp van de vitrine komt presentatie samen met behoud, waarbij de uiterlijke verschijningsvorm en zichtbaarheid van het object moet voldoen aan de tentoonstellingseisen en in balans moet zijn met de behoudsprestaties die de vitrine moet leveren. Voor complexe vitrines wordt aanbevolen om uit te gaan van wensen in plaats van eisen.

Vanuit het denken in wensen kan steeds opnieuw gekeken worden hoe die met het vitrineontwerp kunnen worden gerealiseerd. Door te denken vanuit wensen ontstaat er ook ruimte om daar waar verschillende maatregelen voor verschillende wensen tegen elkaar in werken, te denken over de meest optimale vitrine. We hopen dat daarmee de argumenten voor een vitrine helder worden en dat uw keuze jaren mee kan, zodat een breed publiek kan genieten van ons waardevol en kwetsbaar erfgoed.



Een vitrinekast in de collectie van het Rijksmuseum, gemaakt door Theo Nieuwenhuis in 1910-1920 (foto: Rijksmuseum).

Absolute luchtvochtigheid	De hoeveelheid water in een hoeveelheid lucht. (g/kg of g/m ³)
Art Sorb®	Een materiaal dat efficiënt vocht kan opnemen en afstaan, bestaande uit een mengsel van 90% natriumsilicaatkristallen (Na ₂ SiO ₃) en 10% lithiumchloride (LiCl).
Diffusie	Mengen van gassen als gevolg van willekeurige bewegingen van de moleculen in de lucht. (cm ² /s)
Faseveranderende materialen	In het Engels worden dit <i>phase changing materials</i> (PCM's) genoemd. Het zijn zoutmengsels die afhankelijk van de temperatuur energie kunnen opnemen en afstaan, waardoor ze de temperatuur kunnen bufferen.
Halfwaardetijd	Ook wel halveringstijd genoemd, is de tijd die nodig is om de helft van de totale verandering te ondergaan. (dag of uur)
Hygroscopisch	Een eigenschap van materialen om vocht op te kunnen nemen en af te kunnen staan.
Infiltratie	Luchttransport waarbij ongecontroleerde lucht van buiten naar binnen dringt door gaten en kieren in de vitrine.
Infiltratievoud	Aantal keer per tijdseenheid dat het gehele volume door verse lucht wordt vervangen. (/dag of /uur)
Microklimaat	Een min of meer afgesloten volume waarin een ander klimaat heerst dan in de directe ruimte waarin het zich bevindt. Voorbeelden zijn dozen, folders, zakken, vitrines en (lade)kasten.
Microklimaatdoos	Een luchtdicht afgesloten volume rondom een schilderij dat in de schilderijlijst wordt gevat en daardoor nauwelijks als vitrine door bezoekers wordt ervaren.
Oddy-test	Een test waarmee het risico op het vrijkomen van schadelijke gassen uit materialen wordt bepaald.
Partiële druk	Dat deel van de druk van een mengsel dat afkomstig is van een specifiek gas. (Pa) Als bijvoorbeeld stikstof, argon en water uit de lucht wordt weggenomen, zou 79% van de gassen worden verwijderd. Hiermee zou de druk afnemen van 1,00 tot 0,21 atmosfeer.
Permeatie	Transport van moleculen door een vaste stof onder invloed van een (partieel) drukverschil. (g/m ² .bar.dag)
Plenumbox	Een plastic of stalen doos die de verbinding vormt tussen de ventilatiekanalen en de ventilatieroosters.
Plexiglas	Plexiglas is een merknaam voor acrylglas. De chemische naam is polymethylmethacrylaat, ook wel wordt afgekort tot PMMA.
PROSorb	Een materiaal dat efficiënt vocht kan opnemen en afstaan, bestaande uit een mengsel van 97% natriumsilicaatkristallen (SiO ₂) en 3% aluminiumoxide (Al ₂ O ₃).

Relatieve luchtvochtigheid	Vaak afgekort als RV. Is de hoeveelheid waterdamp die zich in de lucht bevindt ten opzichte van de maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht zou kunnen bevatten. (%)
Responstijd	De tijd dat een object of materiaal nodig heeft om in evenwicht te komen met de nieuwe situatie. Voor hygroskopische objecten wordt gekeken naar de hygrische responstijd. Dat is de tijd die nodig is, bij een verandering van de relatieve luchtvochtigheid, om het nieuwe evenwichtsvochtgehalte te bereiken (dag of uur).
RV-fluctuaties	Verschil in de relatieve luchtvochtigheid tussen twee tijdstippen. (%)
RV-gradiënten	Verschil in de relatieve luchtvochtigheid tussen twee locaties. (%)
Silica gel	Een materiaal dat efficiënt vocht kan opnemen en afstaan, bestaande uit natriumsilicaatkristallen (Na_2SiO_3). De kristallen zijn heel poreus en hebben daardoor een groot intern oppervlak.
Temperatuurfluctuaties	Verschil in de temperatuur tussen twee tijdstippen. (°C)
Temperatuurgradiënten	Verschil in de temperatuur tussen twee locaties. (°C)
Tracergas	Engelse term voor een gas dat van nature niet in hoge concentratie voorkomt en in lage concentratie aan een volume lucht is toegevoegd. Hiermee kan de luchtdichtheid van het betreffende volume worden bepaald.
VOC's	Afkorting voor de Engelse term <i>volatile organic compounds</i> , oftewel vluchtige organische componenten. Het is een verzamelnaam voor een grote groep organische moleculen die in de lucht aanwezig kan zijn.

Bijlage 1 – Berekenen van de hoeveelheid silica gel in Excel

Om de benodigde hoeveelheid silica gel te berekenen voor uw specifieke situatie kunt u in Microsoft Excel een blad maken, waarmee u vervolgens de verschillende variabelen kunt aanpassen en voor elke combinatie kunt berekenen hoeveel silica gel nodig is.

Het proces wordt in x stappen uitgevoerd, het doel is om de hoeveelheid silica gel (Q) te berekenen, met behulp van de formule:

$$Q = \frac{0,01 \cdot (c_{\text{sat}} \cdot (RH_{\text{vitrine}} - RH_{\text{zone}})) \cdot V \cdot (n_{\text{inf}} \cdot t)}{M_h \cdot \Delta RH}$$

waarin:

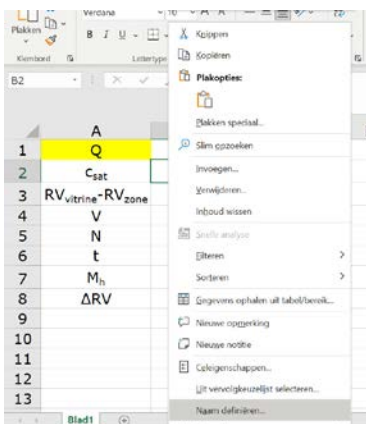
Q	Hoeveelheid silica gel die nodig is voor buffering	kg
c_{sat}	Concentratie waterdamp bij verzadiging. Voor silica gel bedraagt deze circa 15g/m ³ bij 20°C en circa 25 g/m ³ bij 25°C	g/m ³
$RH_{\text{vitrine}} - RH_{\text{zone}}$	Verschil tussen de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de vitrine en relatieve luchtvochtigheid in de ruimte eromheen. Als in de vitrine een RV van 45-55% moet worden gehandhaafd en die in een ruimte staat met een relatieve luchtvochtigheid van 35-65% dan is deze waarde 10%	%
V	Volume van de vitrine	m ³
n_{inf}	Infiltratievoud van de vitrine	1/dag
t	Aantal dagen dat de vitrine binnen de gestelde waarden moet blijven	dag
M_h	Vochtbuffercapaciteit van de buffer. Dit wordt gedefinieerd als de hoeveelheid vocht dat opgenomen of afgestaan wordt door 1 kg buffermateriaal voor ieder 1% verandering van de relatieve luchtvochtigheid. Voor silica gel: $M_h = 2 \text{ g/kg/\%}$	g/kg/%
ΔRH	Maximale relatieve luchtvochtigheid-bereik waarbinnen de waarden moeten blijven	%

Open een leeg werkblad in Excel:

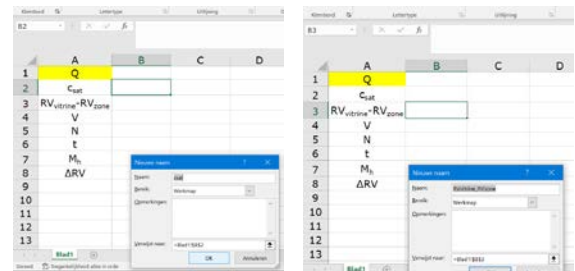
1. In de eerste stap maak je een tabel van de verschillende variabelen uit de formule voor de berekening. (NB het is niet noodzakelijk dat precies dezelfde letters en symbolen worden gebruikt, zolang maar duidelijk is voor welke variabele ze in de formule staan.)

	A	B
1	Q	
2	C _{sat}	
3	RV _{vitrine} -RV _{zone}	
4	V	
5	N	
6	t	
7	M _h	
8	ΔRV	
9		
10		

2. Om later vrijuit met getallen te kunnen spelen, krijgen de cellen in rij B, vanaf [B3] tot en met [B9], een naam. Een naam kan worden gegeven door de cel naast de variabele met de rechtermuisknop aan te klikken en uit de uitvouwlijst 'naam definiëren' te kiezen:



3. Een nieuw venster wordt geopend. Er wordt een voorstel voor een naam gedaan die hetzelfde is als de naam uit rij A. Klik op 'OK'. Als er geen automatische naam gegeven wordt, kan die eenvoudig worden ingetypt, gebruik in die gevallen voor een spatie of minteken een underscore (zie rechterafbeelding, naamveld).



4. Dit proces wordt herhaald voor cel [B3] tot en met [B8].
5. Als laatste wordt in cel [B1], de cel naast Q, de formule geplaatst waarmee de hoeveelheid silica gel wordt berekend. In deze formule worden de cellen [B3] tot en met [B8] gebruikt.
6. In [B1] wordt eerst met een '=' geplaatst. Vervolgens wordt de formule opgebouwd door de benodigde cijfers in te typen, voor een vermenigvuldiging een '*' (shift 8) en voor de deling het teken '/' te gebruiken en de variabelen in rij B aan te klikken. Zo ontstaat in [B1] de formule: $0,01*(C_{eq}*(D))*V*(N*t)/(M_h*F)$. Zie als voorbeeld het invulveld in onderstaande afbeelding.
7. Door nu in de cellen [B3] tot en met [B8] de juiste getallen te plaatsen wordt de benodigde hoeveelheid silica gel 'Q' in [B1] automatisch berekend:

	A	B
1	Q	13,0
2	C _{sat}	20
3	RV _{vitrine} -RV _{zone}	5
4	V	1
5	N	0,5
6	t	365
7	M _h	2
8	ΔRV	7
9		
10		

8. De getallen in [B3] tot en met [B8] kunnen nu worden gevarieerd om te bestuderen hoe de benodigde hoeveelheid silica gel meeverandert met de aanpassing van de omstandigheden en wensen.

Algemene achtergrondinformatie

<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/technical-bulletins.html>

https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/oxygenfree.pdf

https://www.conservation-wiki.com/wiki/Materials_Testing_Results

<http://www.iaq.dk/>

Tweedehandsvitrines

<https://museumgoed.nl>

Publicaties van de Rijksdienst over het binnenklimaat (zie www.cultureelerfgoed.nl)

RCE, 'Meten van het binnenklimaat, De voorbereiding' (2022)

RCE, 'Het Binnenklimaat in het Programma van Eisen van Erfgoedinstellingen' (2020)

RCE, 'Managing indoor climate risks' (2019)

RCE, 'Na-isolatie van historische woonhuizen Wegwijzer voor vakmensen' (2019)

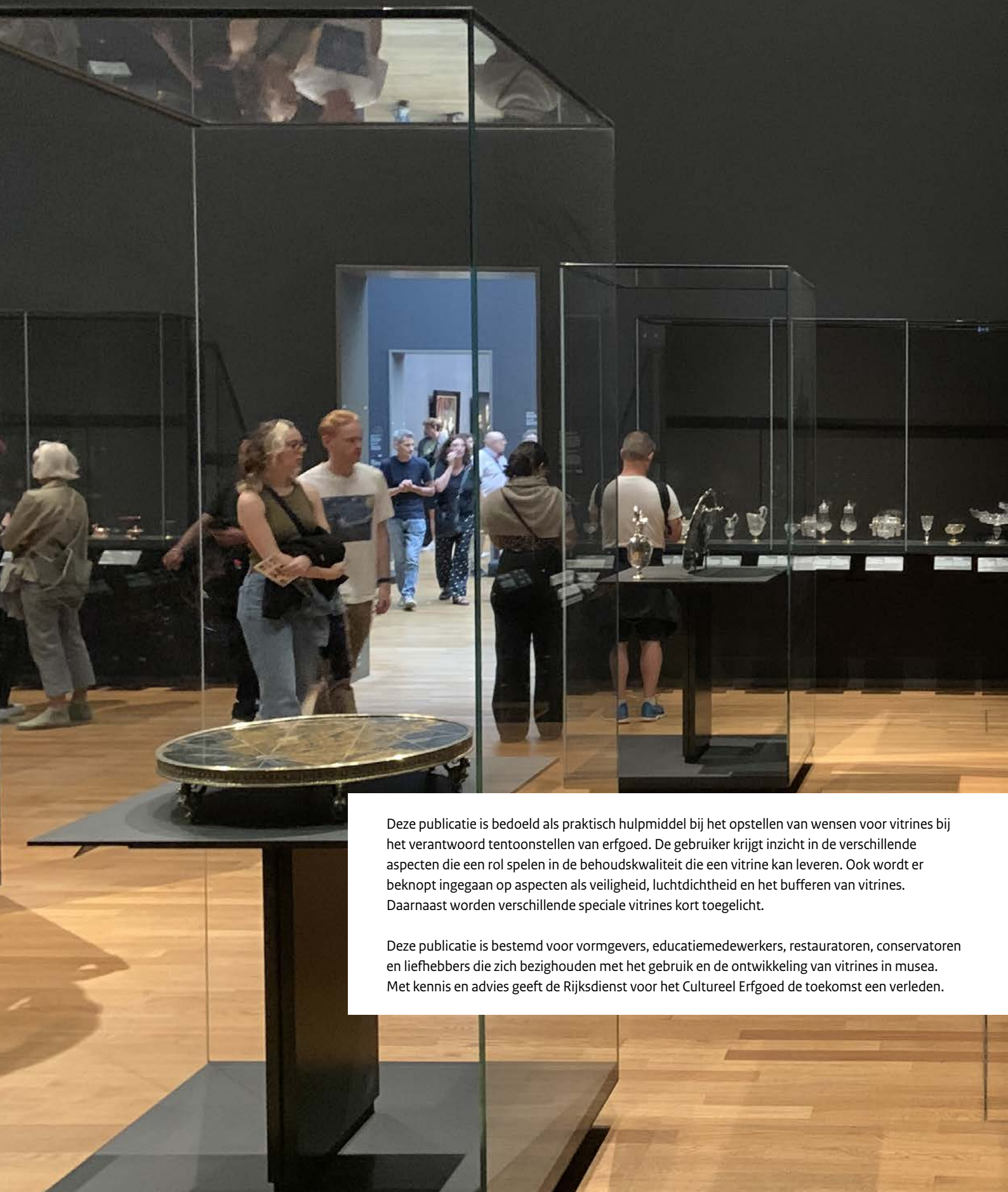
RCE, 'Duurzame luchtbehandeling voor erfgoedinstellingen' (2018)

RCE, 'Kerkorgels en binnenklimaat' (2017)

RCE, 'Klimaatbeheersing in monumentale kerken' (2016)

RCE, 'De microklimaatdoos' (2004)

RCE, 'Het bewaren van fotografisch materiaal' (2002)



Deze publicatie is bedoeld als praktisch hulpmiddel bij het opstellen van wensen voor vitrines bij het verantwoord tentoonstellen van erfgoed. De gebruiker krijgt inzicht in de verschillende aspecten die een rol spelen in de behoudskwaliteit die een vitrine kan leveren. Ook wordt er beknopt ingegaan op aspecten als veiligheid, luchtdichtheid en het bufferen van vitrines. Daarnaast worden verschillende speciale vitrines kort toegelicht.

Deze publicatie is bestemd voor vormgevers, educatiemedewerkers, restauratoren, conservatoren en liefhebbers die zich bezighouden met het gebruik en de ontwikkeling van vitrines in musea. Met kennis en advies geeft de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed de toekomst een verleden.