

DECENTRALE KLIMATISERING VAN HET „DUITS HISTORISCH MUSEUM“ IN BERLIJN



Dipl-Ing Ralf Wagner, hoofd ontwikkeling ruimteluchttechniek, Ltg Aktiengesellschaft Stuttgart.

Evert van de Lustgraaf, directeur, Opticlina Systems Ermelo



HET GEBOUW

„Het behoort sinds 1786 tot de mooiste gebouwen van Europa“, zo oordeelt de schrijver Friedrich Nicolai en nog steeds behoort het Zeughaus in Berlijn tot de belangrijkste barokke gebouwen van de hoofdstad. Het oudste gebouw aan de boulevard „Unter den Linden“ kwam in 1695 gereed. Toen Kurfürst Friedrich Wilhelm het door hem geplande gebouw sinds 1667 een „representatief karakter“ gaf en daarmee meer dan een eenvoudig gebruikersgebouw eiste, was niet te voorzien, welke klimaattechnische ingrepen 300 jaar later zouden volgen.

De grootste wapenkamer van de Pruisen werd in 1815 tot oorlogsmuseum omgebouwd en door Keizer Wilhelm I tot „Ruhmeshalle“ van het leger verklaard. In de Tweede Wereldoorlog is het, op de voorgevel na, verwoest. Tijdens de DDR-tijd werd het weer als geschiedenis museum ingericht. Met de Duitse hereniging kreeg tenslotte het „Deutsche

Historische Museum“ haar verblijfplaats in het Zeughaus. Nadat van 1994-1998 de voorgevel van het Zeughaus volgens historische grondslagen gerenoveerd was, moest een interne verbouwing van het 300 jaar oude gebouw er toe leiden, dat de museumstandaard van de 21^e eeuw gerealiseerd kon worden. In de voorgaande vijf jaren werd het gebouw voor €25 miljoen geheel gerenoveerd volgens plannen van het Architectenburo Brenne. De nieuwste klimaat- en brandbeveiligingstechniek werd toegepast om deze hoge eisen te bereiken (zie figuur 1). Op 9 januari 2004 volgde tenslotte de feestelijke oplevering van het gebouw en werd de sleutel overhandigd aan de museum directeur.

KLIMATISERINGSEISEN VAN HET MUSEUM

Welke eisen worden aan de klimatisering van tentoonstellingsruimtes in musea gesteld? Zoals in kantoorgebouwen de mens en diens thermische behaaglijkheid in het middelpunt

staan, zo zijn dat in musea de verzekeringskosten van de exposanten (kunstobjecten).

In musea moet uit klimaattechnisch oogpunt op de eerste plaats het condenseren van vochtige lucht op de exposanten voorkomen worden. De veranderingen van de relatieve luchtvochtigheid en de ruimteluchttemperaturen zijn schadelijk. Deze leiden bijvoorbeeld tot de bekende fijne haarscheurtjes in de olieverf (craquelé) die ontstaan door het werken van het linnendoek.

In het Zeughaus moesten eisen van 52,5 +/- 2,5 % relatieve vochtigheid gerealiseerd worden. Voor temperaturen geldt een toelaatbare tolerantie van 20°C +/- 1°C in de winter en 20-24°C +/- 1°C in de zomer.

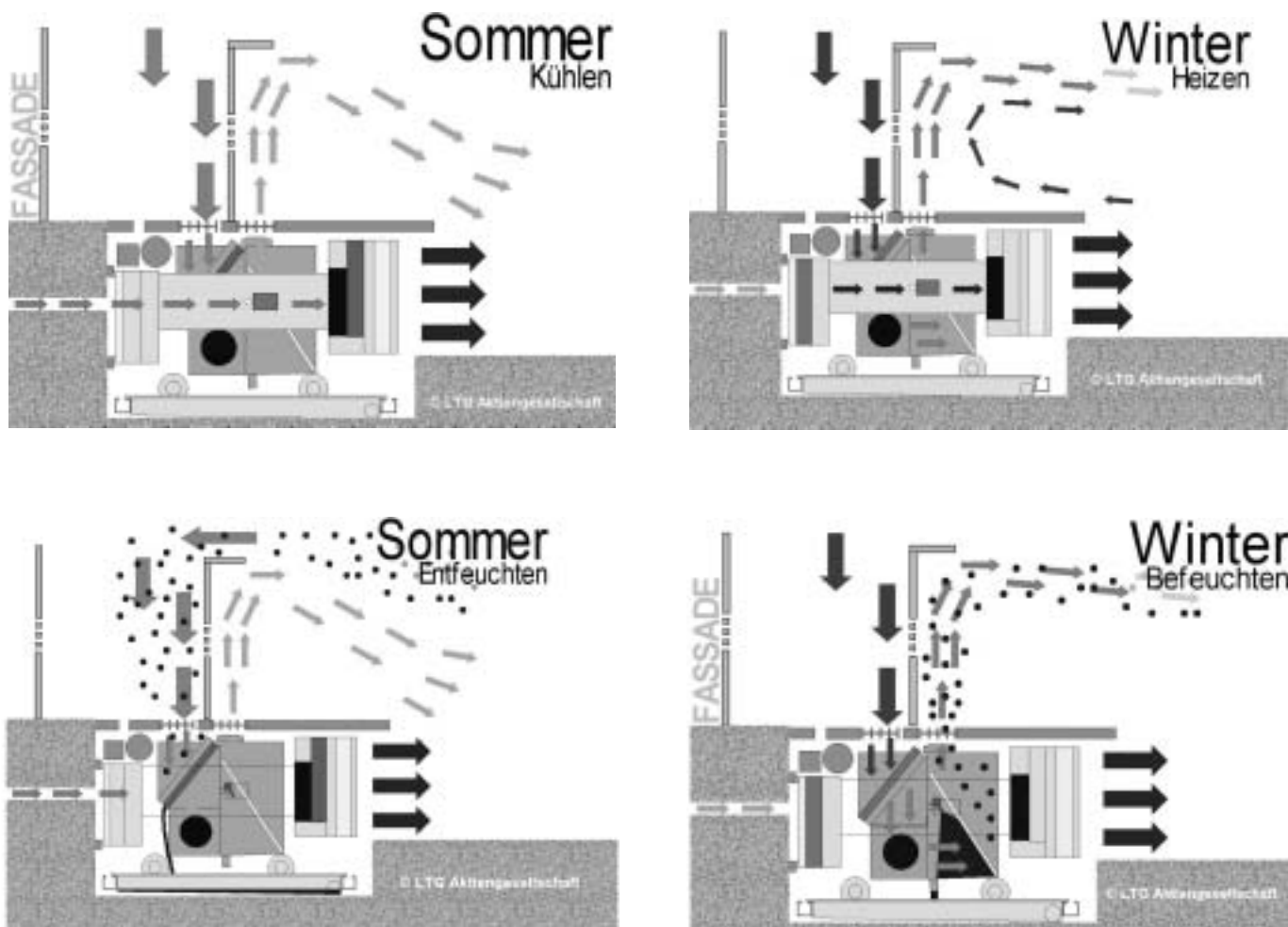
Naast de tijdelijke gemiddelde veranderingen in temperatuur en vochtigheid dienen ook de plaatselijke veranderingen van temperatuur- en vocht in de tentoonstellingsruimten vermeden te worden. Hier komt nog extra bij, dat het verblijfsgebied van exposanten niet zoals bij mensen op 1,7 m hoogte eindigt; grootschalige exposities strekken zich over de gehele ruimtehoogte uit!

Hierna speelt de bezoeker en diens thermisch comfort een rol. De thermische behaaglijkheid volgens DIN 1946/2 moest worden aangehouden en de verdeling van verse lucht



Figuur 2: Stromingsvisualisering van beide stromingsvormen in het proeflaboratorium van LTG Aktiengesellschaft te Stuttgart

tot diep in de grote ruimten moest worden zeker gesteld. De maatgevende warmtelast wordt bij deze oude gebouwen, met de kleine raamvlakken en dikke muren, niet veroorzaakt door de zon. De verlichting en de bezoeker zijn de



Figuur 3: Einige voorbeelden van mogelijke bedrijfstoestanden van decentrale klimatisering van musea



© LTG Aktiengesellschaft

Figuur 4: De decentrale klimaatunit QVM voor musea



© LTG Aktiengesellschaft

Figuur 5: QVM buitenluchteenheid

maatgevende invloedsfactoren; hierna spelen de thermische en vochtlasten een rol.

EEN DECENTRAAL KLIMATISERINGSCONCEPT

Een centrale klimaatinstallatie die aan de bovengenoemde eisen voldoet, zou door de installatie van luchtverdeelkanalen tot een enorme ingreep in de monumentale bouwmassa leiden. Volgens een klimaatconcept van Transsolar Energietechnik GmbH is een decentrale klimatisering, waarbij in iedere gebouwmoduul de buitenlucht door een smalle aanzuigpleet in het gebouw wordt toegevoerd, in dit opzicht minder kritisch. Eerst moesten echter de volgende specificaties vervuld worden, die tot dat moment nooit in decentrale units gerealiseerd konden worden:

1. Gelijkmatische verdeling van de verse lucht tot een ruimtediepte van 12,5 m.
2. Hooginductieve mengstroming, die een gelijkmatige verdeling van temperatuur en vochtigheid in de tentoonstellingsruimte waarborgt.
3. Warmte- en koelfunctie.

4. Bevochtiging en ontvochtiging van de ruimtelucht.
5. Filteren van de „vervuilde“ buitenlucht met filterklasse F7, daar „Unter den Linden“ een hoge verkeersintensiteit heeft.

De eis een geringe buitenlucht hoeveelheid aantoonbaar tot diep in de expositieruimte te transporteren, in combinatie met de eis van een hooginductieve mengstroming ter voorkoming van gelaagdheid, zijn tegenstrijdig met elkaar.

De oplossing wordt gevonden in twee gescheiden parallel werkende units die de verschillende stromingsvormen in hetzelfde gebouwmoduul kunnen maken. In een stromingsproef op schaal 1:1 kon bewezen worden, dat het mogelijk is de buitenlucht met 2-3 K ondertemperatuur impulsarm langs de vloer tot diep in het vertrek te schuiven (principe van verdringsventilatie), terwijl boven de scheidingslijn een hooginductieve mengstroming ondanks hoge verwarmings- en koelcapaciteiten een gelijkmatig temperatuurprofiel mogelijk maakt. Bij deze tweede stromingsvorm vindt door een verdeling van de gekoelde/verwarmde recirculatielucht in enkele stralen een sterke vermenging met de ruimtelucht in de nabijheid van de gevel plaats. Aansluitend volgt, door de zeer geringe temperatuurverschillen, in de mengzone een verdringsstroming in de ruimte. Een visualisering van beide stromingsvormen toont figuur 2. Deze door LTG Aktiengesellschaft ontwikkelde combinatie van meng- en verdringsstroming (meng/verdringing) werd reeds in talrijke kantoorgebouwen met goed gevolg ingezet en waarborgt ook het thermisch comfort met alle voordelen van de verdringsventilatie bij hoge koellasten. Voor de eerste keer wordt de combinatie van “klassieke verdringsventilatie” en verse lucht gericht in grote ruimtediepten ingebracht. Beide stro-



© LTG Aktiengesellschaft

Figuur 6: QVM recirculatieeenheid

Een type selectie van de units kan de volgende capaciteitsgegevens leveren:

Zomersituatie			
T buiten=32°C / T ruimte= 22°C / T KW in=6°C			
	Trap 1	Trap 2	Trap max.
Buitenluchtaandeel	120 m ³ /h	170 m ³ /h	220 m ³ /h
Gezamenlijke ruimte-koelcapaciteit	1310 + 120 = 1430 W	1930 + 170 = 2100 W	2450 + 220 = 2670 W
Geluid(druk)niveau (vrije veld)	35 dB(A)	45 dB(A)	52 dB(A)

Wintersituatie			
T buiten=-10°C / T ruimte= 20°C / T WW in=55°C			
	Stap 1	Stap 2	Stap max.
Buitenluchtaandeel	120 m ³ /h	170 m ³ /h	220 m ³ /h
Gezamenlijke ruimte- verwarmingscap.	1750 - 120 = 1630 W	2205 - 170 = 2035 W	2520 - 220 = 2300 W
Geluid(druk)niveau (vrije veld)	35 dB(A)	45 dB(A)	52 dB(A)



Figuur 7: Inbouw van de decentrale klimaatunit QVM in een borstweringsnis / coördinatie met M+R / Veiligheidstechniek etc

mingsvormen beïnvloeden elkaar nauwelijks, zoals in de aangegeven scheidingslijn in de stromingsvisualisering duidelijk te zien is. Dit geeft het turbulent arme scheidingsvlak aan. Tijdens een proef kon een homogene verdeling van de temperatuur in de ruimte ook bij grote koel- en warmte-lasten en de zekerstelling van de thermische behaaglijkheid voor de museumbezoeker meettechnisch vastgesteld worden. Het bewijs van een gelijkmatige en constante verdeling van de ruimtevochtigheid werd aansluitend onder werkelijke inbouwvoorwaarden in een proefopstelling in het Zeughaus geleverd.

Het gevelconcept voorzag een behoud van de historische ramen en moest door een achterliggend 2^e glasvlak gewaarborgd worden. Een zich op 4 m hoogte bevindende lichtkoepel, die voor de natuurlijke belichting van de tentoonstellingsruimte dient, is met de bovenkant van het veiligheidsraam de ruimte in wijzend gemonteerd. Het daardoor ontstane kanaal tussen het historische raam en het veiligheidsraam konden in verbinding met de lichtkoepel als omkeerinrichting zinvol in het stromingsconcept ingebouwd worden.

Door de ontstane aanzuigschacht kon ruimtelucht vanaf 4 m hoogte aangezogen worden en de uittredende lucht ook

bij verwarmen door de lichtkoepel in de tentoonstellingsruimte geleid worden. Een stromingstechnische kortsluiting wordt door de lichtkoepel verhinderd. Door deze opstelling konden zelfs voor de statische verwarming een uitstekende vermenging van warme lucht in de verblijfszone aangetoond worden. Een keuze van mogelijke bedrijfstoestanden is in figuur 3 weergegeven.

TECHNISCHE REALISERING

De decentrale klimaatunit QVM (figuur 4) deelt zich constructief voor het realiseren van de beschreven thermodynamische processen in twee deelunits op:

Buitenluchtdeel

De noodzakelijke verse luchthoeveelheid wordt met een radiaalventilator door de aanzuigpleet in de gevel aangezogen en volgens buitenluchtconditie op 2-3K ondertemperatuur t.o.v. de ruimte verwarmd of gekoeld. Een groffilter G3 en nageschakeld fijnfilter F7 waarborgt de vereiste filterklas-



Figuur 8: Stromingsconcept van twee stromingsvormen; verdringingsstroming voor de verse lucht verdeling + meng/verdringing voor het verwarmen/koelen/bevochtigen en ontvochtigen

se. Door de filtervlakken wordt een impulsarm uittreden van de verse lucht gegarandeerd en daarmee de gewenste verdringingsventilatie bereikt. Een afsluitklep sluit de ventilatievoorziening bij hoge winddrukken op de gevel af (figuur 5).

Recirculatie-eenheid

Het recirculatiedeel zuigt ruimtelucht op 4m hoogte van achter het veiligheidsglas aan en heeft grote capaciteitsreserve t.a.v. verwarmings- en koelcapaciteit. Door het verlagen van de intredetemperatuur van het koelwater naar 6°C, bestaat hier de mogelijkheid de ruimtelucht te ontvochtigen. Na de dwarsstroomventilator zijn hogedruk bevochtigersnozzles geplaatst die een bevochtigingsmat cyclisch besproeien. Door het constante drogen van deze mat wordt kiemvorming voorkomen en een uitstekende bevochtigingscapaciteit bereikt.

In de uitblaasopening van de fancoils zijn luchtgeleidingsprofielen geplaatst, welke de lucht in enkel stralen opdelen en daarmee de inductie, d.w.z. vermenging met ruimtelucht verhogen (figuur 6). Zo ontstaat de beschreven meng- verdringingsstroming.

Om het onderhoud van de units te vereenvoudigen is de gehele eenheid op een vloerbevestigingsframe opgesteld. Rollend kan men de eenheid van en naar de gevel verplaatsen. De wateraansluitingen voor alle warmtewisselaars, toevoer naar de hogedruk nozzles, elektriciteit de voor ventilatoren en toevoer voor M&R-sensoren, moeten deze beweging ondanks beperkte ruimteverhoudingen volgen. Dit

moet in coördinatie met jaloezieaandrijvingen, M&R-techniek en veiligheidstechniek in de nissen gebeuren.

De integratie van de klimaatunits in een 300 jaar oud gebouw vraagt een flexibele aanpassing aan de bouwkundige "randvoorwaarden" dat per gebouwmoduul sterk veranderen kan (zie figuur 7). Deze klimaatunits werden door een modulaire opbouw en een flexibele vervaardiging sterk vereenvoudigd, zodat voor de verschillende borstwering afmetingen aanpassingen gedaan konden worden. Eveneens konden speciale units voor vloerinbouw en recirculatieunits voor wandinbouw aangepast worden.

SAMENVATTING EN CONCLUSIE

Door een innovatieve combinatie van bekende stromingsvormen, is aangetoond dat het mogelijk is vanaf een plaats aan de gevel tot in een ruimtediepte van 12,5 m, de hoge eisen van een museumklimaat betreffende temperatuur, vochtigheid, ruimteluchtsnelheden en de verdeling van de verse lucht in ieder gebouwmoduul te vervullen (figuur 8). Hiertoe werd voor het eerst bevochtiging in decentrale klimaatunits geïntegreerd. De verhoogde onderhoudskosten konden door een uitgekiend onderhoudsconcept geminimaliseerd worden. Met dit decentrale klimatiseringsconcept kon de monumentale gebouwmassa door een minimale ingreep tijdens de montage behouden blijven, zonder afbreuk te doen aan de hoge museum klimaateisen.