

## Dezentrale Klimatisierung im „Deutschen Historischen Museum“<sup>^</sup>

Von Ralf Wagner

### Das Gebäude

„Es gehört zu den schönsten Gebäuden Europas“, so urteilte der Schriftsteller Friedrich Nicolai bereits 1786 und noch heute gehört das Zeughaus in Berlin zu den bedeutendsten Barockbauten der Hauptstadt. Das älteste Gebäude am Boulevard „Unter den Linden“ wurde 1695 fertiggestellt.

Als Kurfürst Friedrich Wilhelm dem von ihm geplanten Gebäude bereits 1667 einen „repräsentativen Charakter“ zuwies und somit weit mehr als einen einfachen Nutzbau forderte, war nicht absehbar, welche klimatechnischen Konsequenzen sich daraus 300 Jahre später ergeben sollten.

Die größte Waffenkammer Preußens wurde 1815 zum Kriegsmuseum umgebaut, von Kaiser Wilhelm I. zur „Ruhmeshalle“ der Armee erklärt und schließlich im 2. Weltkrieg bis auf die Fassade zerstört. Zu DDR-Zeiten wurde es als Geschichtsmuseum wieder errichtet. Mit der Wiedervereinigung bekam schließlich das „Deutsche Historische Museum“ seinen Sitz im Zeughaus.

Nachdem 1994-1998 die Fassade des Zeughauses nach historischen Grundlagen saniert worden war, sollte ein Umbau im Inneren des 300 Jahre alten Gebäudes dazu dienen, den Museumsstandard des 21. Jahrhunderts zu erreichen.

In den vergangenen 5 Jahren wurde das Gebäude für 25 Millionen Euro nach Plänen des Architekturbüros Brenne generalsaniert und mit neuester Klima- und Brandschutztechnik ausgerüstet um diese hohen Anforderungen zu erreichen, siehe Bild 1.

Am 9. Januar 2004 erfolgte schließlich die feierliche Schlüsselübergabe und Übergabe des Gebäudes an den Museumsdirektor.



Bild 1: Das Alte Zeughaus von 1695 und der Neubau von 2003

### Anforderung an Museumsklimatisierung

Welche Anforderungen werden an die Klimatisierung von Ausstellungsräumen in Museen heute gestellt? So wie in Bürogebäuden der Mensch und dessen thermische Behaglichkeit im Mittelpunkt stehen, rücken in Museen die Exponate, die erhebliche Versicherungswerte darstellen an die erste Stelle. Hier muss aus klimatechnischer Sicht an erster Stelle die Kondensation feuchter Luft an den Exponaten verhindert werden. Des Weiteren sind zeitliche Änderungen der relativen Luftfeuchte und der Raumlufttemperaturen extrem schädlich. Sie führen z.B. zu den bekannten feinen Haarrissen in der Farboberfläche von Ölbildern, die durch ein Walken der Leinwand bei den genannten Zustandsänderungen entstehen.

Hier sind zum Beispiel im Zeughaus Forderungen von 52.5 +/- 2.5 % relative Feuchte einzuhalten, für Temperaturen gilt eine zulässige Toleranz von 20°C +/- 1°C im Winter und 20-24°C +/- 1°C im Sommer.

Neben den zeitlichen Änderungen von Temperatur und Feuchte sind die räumlichen Änderungen, also Temperatur- und Feuchteschichtungen in den Ausstellungshallen zu vermeiden. Hier kommt erschwerend hinzu, dass der Aufenthaltsbereich von Exponaten nicht wie beim Menschen in 1.7m Höhe endet; großformatige Exponate erstrecken sich über die gesamte Raumhöhe!

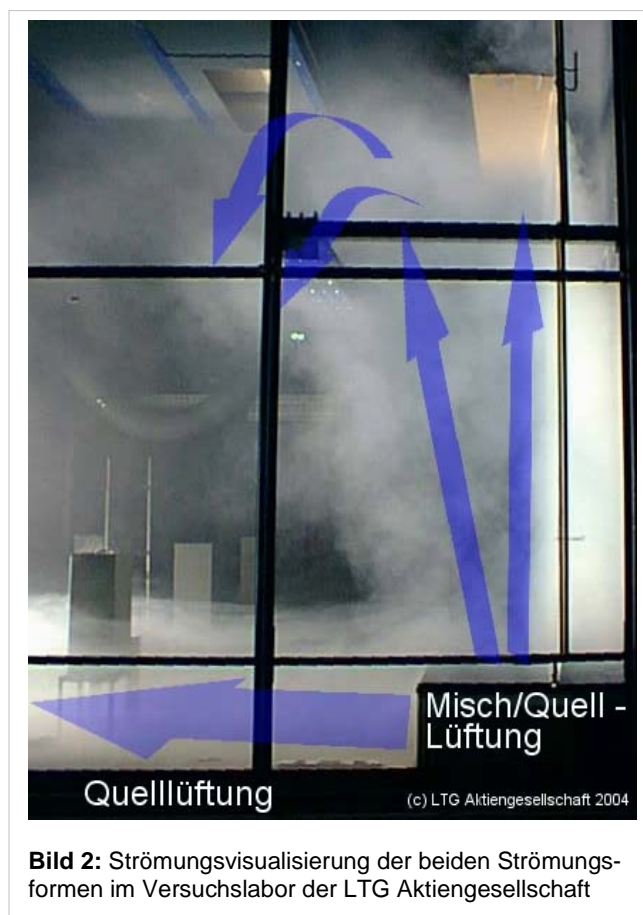
Erst dann kommt im Ranking der Besucher und dessen thermischer Komfort ins Spiel. Die thermische Behaglichkeit nach DIN 1946/2 soll eingehalten werden und eine Frischluftverteilung bis in große Raumtiefen muss sichergestellt werden. Die dominierenden Lasten sind bei diesen alten Gebäuden aufgrund kleiner Fensterflächen und dicken Mauerwerks keinesfalls der solare Eintrag. Hier sind Beleuchtung und die Besucher die maßgeblichen Einflussfaktoren; als thermische Lasten und auch als Feuchtelasten.

### Ein dezentrales Klimatisierungskonzept

Eine zentrale Klimaanlage mit der die obengenannten Anforderungen erfüllt werden könnten, würde durch die Installation von Luftverteilkänen zu einem erheblichen Eingriff in die denkmalgeschützte Bausubstanz führen. Nach einem Klimakonzept von Transsolar Energietechnik GmbH ist eine dezentrale Klimatisierung, bei der in jeder Gebäudeachse die Außenluft durch einen schmalen Ansaugspalt ins Gebäude gefördert wird diesbezüglich unkritischer. Es müssen aber folgende Spezifikationen erfüllt werden, die bislang in dezentralen Geräte nicht realisiert werden konnten:

1. Gleichmäßige Verteilung der Frischluft bis in Raumtiefen von 12,5m
2. Hochinduktive Mischströmung, die eine gleichmäßige Verteilung von Temperatur und Feuchte im Ausstellungsraum gewährleistet.
3. Heiz- und Kühlfunktion
4. Befeuchtung und Entfeuchtung der Raumluft
5. Filtern der „schmutzigen“ Außenluft mit Filterklasse F7, da „Unter den Linden“ eine hohes Verkehrsaufkommen aufweist

Die Anforderung eine geringe Außenluftmenge nachweislich bis in große Raumtiefen zu transportieren, verbunden mit der Erfordernis einer hochinduktiven Mischströmung zur Prävention von Schichtungen stellt bei den bekannten Strömungsformen zunächst ein Widerspruch dar. Erst die Trennung in zwei Teilgeräte die parallel existierende, aber unterschiedliche Strömungsformen in derselben Gebäudeachse ermöglichen, löst diesen Konflikt. In einem Strömungsversuch im Maßstab 1:1 konnte nachgewiesen werden, dass es möglich ist die Außenluft mit 2-3K Untertemperatur impulsarm am Boden bis in große Raumtiefen zu „schieben“ (Prinzip der Quelllüftung), während oberhalb der Separationslinie eine hochinduktive Mischströmung trotz hoher Heiz- und Kühlleistungen ein gleichmäßiges Temperaturprofil ermöglicht. Bei dieser zweiten Strömungsform findet durch ein Auffächern der gekühlten/geheizten Umluft in Einzelstrahlen eine starke Vermischung mit der Raumluft in Fassadennähe statt. Anschließend folgt, resultiert durch die verbleibenden sehr geringen Temperaturunterschiede in der Mischungszone eine Verdrängungsströmung in den Raum. Eine Visualisierung beider Strömungsformen zeigt Bild 2. Diese von der LTG Aktiengesellschaft entwickelte Kombination von Mischungs- und Verdrängungsströmung (Misch/Quelllüftung) wurde bereits in zahlreichen Bürobaute mit Erfolg eingesetzt und gewährleistet bei allen Vorzügen der Quelllüftung den thermischen Komfort auch bei hohen Kühllasten. Einmalig ist jedoch die Kombination mit einer klassischen Quelllüftung, die Frischluft gezielt in große Raumtiefen transportiert. Beide Strömungsformen beeinflussen einander kaum, wie an der ausgeprägten Separationslinie in der Strömungsvisualisierung deutlich zu sehen ist. Diese ist ein Hinweis auf eine turbulenzarme Trennfläche. Im Versuch konnte eine homogene Verteilung der Temperatur im Raum auch bei großen Kühl- und Heizleistungen und die Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit für den Museumsbesucher messtechnisch belegt werden. Der Nachweis einer gleichmäßigen und konstanten Verteilung der Raumfeuchte wurde anschließend unter realen Einbaubedingungen in einem Testaufbau im Zeughaus erbracht.



**Bild 2:** Strömungsvisualisierung der beiden Strömungsformen im Versuchslabor der LTG Aktiengesellschaft

Das Fassadenkonzept sah einen Erhalt des historischen Fensters vor, musste jedoch die Sicherheitsfunktion des Fensters durch eine dahinterliegende 2. Glasebene gewährleisten. Ein in 4m Höhe befindliches Lightshelf, das zur natürlichen Belichtung des Ausstellungsraumes dient, ist an der Oberkante des Sicherheitsfensters in den Raum weisend montiert. Der dadurch entstehende Kanal zwischen historischem Fenster und Sicherheitsfenster konnte in Verbindung mit dem Lightshelf als Umlenkeinrichtung sinnvoll in das Strömungskonzept eingebunden werden.

Durch den entstehenden Ansaugschacht kann Raumluft aus 4m Höhe angesaugt werden und die austretende Luft auch im Heizfall durch das Lightshelf in die Ausstellungshalle geleitet werden. Ein strömungstechnischer Kurzschluss wird durch das Lightshelf verhindert. Durch diese Anordnung konnte selbst für den statischen Heizfall eine ausreichende Durchmischung der warmen Luft in der Aufenthaltszone nachgewiesen werden. Eine Auswahl möglicher Betriebszustände ist in Bild 3 dargestellt.

### Technische Realisierung

Das dezentrale Klimagerät QVM (Bild 4) teilt sich konstruktiv zur Realisierung der beschriebenen thermodynamischen Prozesse in zwei Teilgeräte auf:



**Bild 4:** Das dezentrale Klimagerät QVM für Museen



**Bild 5:** QVM Außenlufteinheit



**Bild 6:** QVM Umlufteinheit

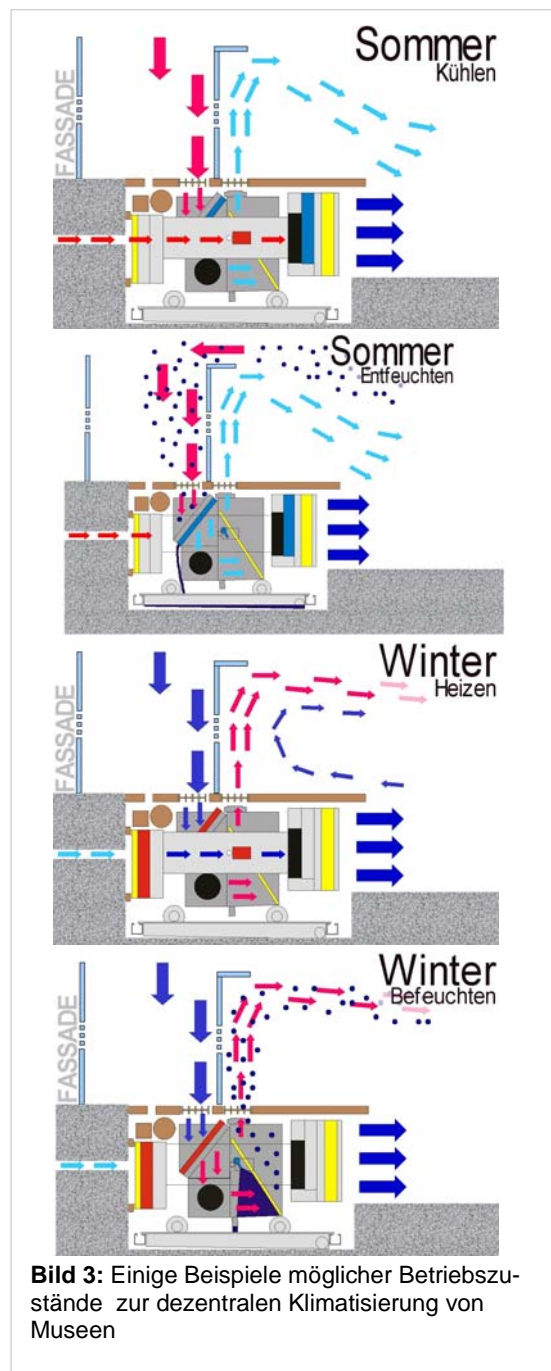
#### Außenlufteinheit

Die erforderliche Frischluftmenge wird mit einem Radialventilator durch den Ansaugschlitz an der Fassade gesaugt und je nach Außenluftkondition auf 2-3K Untertemperatur zum Raum geheizt oder gekühlt. Ein Grobfilter G3 und nachgeschaltete Feinfilter F7

gewährleisten die geforderte Filterklasse. Durch die Filterfläche wird ein impulsarmes Austreten der Frischluft gewährleistet und somit die gewünschte Quelllüftung erzielt. Eine Absperrklappe verschließt den Ausstellungsraum bei hohen Winddrücken an der Fassade dicht nach außen (Bild 5).

#### Umlufteinheit

Die Umlufteinheit saugt Raumluft aus 4m Höhe hinter dem Sicherheitsglas an und hat große Leistungsreserven hinsichtlich Heiz- und Kühlleistung. Durch ein Absenken der KW-Vorlauftemperatur auf 6°C besteht hier die Möglichkeit die Raumluft zu entfeuchten. Nach dem Querstromventilator sind Hochdruckbefeuchterdüsen angeordnet die eine Befeuchtermatte zyklisch besprühen. Durch das kontinuierliche Abtrocknen dieser Matte wird Keimbildung vermieden und eine ausreichende Befeuchtungsleistung erbracht.



**Bild 3:** Einige Beispiele möglicher Betriebszustände zur dezentralen Klimatisierung von Museen

Im Ausblasquerschnitt des Fancoils sind Luftleitprofile angeordnet, welche die Luft in Einzelstrahlen aufteilen und somit die Induktion, d.h. Vermischung mit Raumluft erhöhen (Bild 6). Es entsteht die beschriebene Misch-Quellströmung.

Eine typische Auslegung des Gerätes kann folgende Leistungsdaten erbringen:

Um die Wartung der Geräte zu vereinfachen ist die gesamte Einheit auf einem am Boden befestigten Tragrahmen angeordnet. Auf Rollen stehend lässt sich die Einheit entriegeln und von der Fassade

<b>Sommerfall</b> T Außen=32°C / T Raum= 22°C / T KWVL=6°C			
	<b>Stufe 1</b>	<b>Stufe 2</b>	<b>Stufe max.</b>
Außenluftmenge	120m³/h	170m³/h	220m³/h
Gesamte Raum-Kühlleistung :	1310 +120 = <i>1430W</i>	1930 +170 = <b>2100W</b>	2450 +220 = <i>2670W</i>
Schalldruckpegel im diffusen Fernfeld	35 dBA	45 dBA	52 dBA

<b>Winterfall</b> T Außen=-10°C / T Raum= 20°C / T WWVL=55°C			
	<b>Stufe 1</b>	<b>Stufe 2</b>	<b>Stufe max.</b>
Außenluftmenge	120m³/h	170m³/h	220m³/h
Gesamte Raum-Heizleistung :	1750 -120 = <i>1630W</i>	2205 -170 = <b>2035W</b>	2520 -220 = <i>2300W</i>
Schalldruckpegel im diffusen Fernfeld	35 dBA	45 dBA	52 dBA

ziehen. Die Wasseranschlüsse für alle Wärmetauscher, Zuleitung zu den Hochdruckdüsen, Spannungsversorgung für Ventilatoren und Zuleitung für MSR-Sensoren müssen dieser Bewegung trotz beengter Platzverhältnisse folgen. Dies muss in Koordination mit Jalousieantrieben, MSR-Technik und Sicherheitstechnik in den Nischen geschehen.

Die Integration der Klimageräte in eine 300-Jahre alte Bausubstanz erfordert eine flexible Anpassung an die baulichen Gegebenheiten, die sich von einer Gebäudeachse zur nächsten stark ändern können, siehe Bild 7. Dies wird durch einen modularen Geräteaufbau und eine flexible Fertigung stark vereinfacht, so dass für unterschiedliche Brüstungsgeometrien eine geräteseitige Anpassung vorgenommen werden. Ebenso konnten Sondergeräte für den Bodeneinbau und Umluftgeräte für den Wandeinbau angepasst werden.



**Bild 7:** Einbau des dezentralen Klimagerätes QVM in eine Brüstungsnische / Koordination mit MSR / Sicherheitstechnik etc

### Zusammenfassung

Durch eine innovative Kombination bekannter Strömungsformen, konnte der Nachweis erbracht werden, dass es möglich ist von einer Stelle an der Fassade bis in Raumtiefen von 12.5m die hohen Anforderungen an ein Museumsklima bezüglich Temperatur, Feuchte, Raumluftgeschwindigkeiten und der Verteilung der Frischluft in jeder Gebäudeachse zu erfüllen (Bild 8).

Hierzu wurde erstmalig Befeuchtung in dezentrale Klimageräte integriert. Der erhöhte Wartungsaufwand konnte durch ein geeignetes Wartungskonzept minimiert werden. Mit diesem dezentralen Klimatisierungskonzept kann der oft denkmalgeschützten Bausubstanz von Museumsbauten durch einen minimal-invasiven Eingriff bei der Montage Rechnung getragen werden ohne auf die Erfüllung der hohen Anforderungen an eine Museumsklimatisierung verzichten zu müssen.



**Bild 8:** Strömungskonzept zweier überlagerter Strömungsformen; Quellströmung zur Frischluftverteilung + Misch/Quellströmung zum Heizen/Kühlen/Befeuchten und Entfeuchten

*Dipl.-Ing. Ralf Wagner, Leiter Entwicklung Raumluftechnik  
LTG Aktiengesellschaft Stuttgart*