

## BAUSIM 2008: MUSEUMSKLIMA IM DENKMAL SIMULATION DES RAUMKLIMAS IM SCHLOSS KASSEL-WILHELMSHÖHE

Dr.-Ing. Hans Jürgen Schmitz  
 E<sup>2</sup>-Energieberatung, Düsseldorf  
 www.equadrat.de

### KURZFASSUNG

Im Rahmen der Sanierung von Gebäuden im Schlosspark Wilhelmshöhe in Kassel wurden Bauphysik und Raumklima für den mit historischer Raumausstattung erhaltenen Weißensteinflügel und die schon zur Bauzeit als Burgruine errichtete Löwenburg untersucht. Das Ziel der geplanten, umfangreichen Sanierungsarbeiten ist eine erweiterte museale Nutzung und die Verbesserung der konservatorischen Bedingungen für die Bausubstanz und die Exponate. Aus Parameterstudien zum hygrothermischen Verhalten des Bestands wurden Lösungen für die baulichen und gebäudetechnischen Sanierungen entwickelt. Hier ging es nicht darum, ganzjährig unveränderliche Klimabedingungen zu erreichen, sondern für die Besonderheiten der verschiedenen Gebäudeteile ein optimiertes Nutzungs- und Klimakonzept zu entwickeln. Die Ergebnisse der Simulation des Bestandes konnten mit den teils vorhandenen Klimamessdaten abgeglichen werden. So war es möglich, mit einem verifizierten Gebäudemodell das Verhalten verschiedener Varianten der Nutzung, der baulichen Veränderungen und der Gebäudetechnik durchzuspielen und die Simulation als ein wichtiges Planungsinstrument im Entwurfsprozess zu nutzen.

### ABSTRACT

In the context of the restoration of buildings on palace Wilhelmshöhe in Kassel building physics and room climate conditions for the Weißensteinflügel with its historical interior design and the Löwenburg as a fake castle ruin were examined. The goal of the extensive restoration is an extended museum use with improvement of the stable climate conditions for the building fabric and the exhibits. From parameter studies of the hygrothermal behaviour of the historic structure co-ordinated solutions for the structural and environmental reorganizations were developed. Here it was not intended to achieve all time stable climate conditions but to develop an optimized feasibility and building concept for the characteristics of the different building parts. The results of the simulation of the existing structure could be verified by partial existing room climate data. Thus it was possible to examine the behaviour of different variants of the use, the structural changes and the environment and

to use the simulation as an important instrument in the design process.

### DIE GEBÄUDE

Das Schloss Wilhelmshöhe wurde als Wohnsitz von Kurprinz Wilhelm I. in der Zeit um 1790 errichtet. In seiner ursprünglichen Ausstattung ist nur der Weißensteinflügel erhalten, lediglich das oberste Geschoss fiel Kriegsschäden zum Opfer, so dass das Gebäude das Wohnen und Leben der Fürsten dieser Epoche weitgehend original zeigt.



*Abbildung 1 Weißensteinflügel*

Der Weißensteinflügel ist daher kein Museum in herkömmlichen Sinne, sondern ein Ausstellungsstück in seiner Gesamtheit.



*Abbildung 2 Löwenburg*

Eine besondere bauliche Kuriosität ist die nahegelegene „Löwenburg“ (1793 bis 1806) Alle Welt schwärmte damals für Ruinen, und weil es in Kassel keine gab, ließ sich Prinz Wilhelm eben eine

bauen. Die Löwenburg ist auch nicht eigentlich nur ein Gebäude, sondern ein Konglomerat verschiedener Gebäudeteile mit z.T. sehr unterschiedlichem historischen Wert und verschiedenen Nutzungen. Für die Löwenburg sind folglich differenzierte Konzepte für jeden einzelnen Gebäudeteil erforderlich. Eine schrittweise Sanierung kann dem von vornherein geplanten stetigen Verfall der „Ruine“ immer nur zeitweise entgegenwirken.

## KLIMA IM DENKMAL

Baudenkmäler weisen in aller Regel eine weit über die normale Lebensdauer hinausgehende Nutzungszeit auf, dennoch geht der natürliche Verfall der Baustoffe, bekannt als Zahn der Zeit, auch am Denkmal nicht spurlos vorbei. Hinzu kommt, dass aufgrund sich verändernder Anforderungen manche der ursprünglichen Nutzungen heute nicht mehr gebraucht werden und eine Umnutzung manchmal die einzige Alternative zum Verfall ist. Oftmals erweisen sich auch historische Konstruktionen als nicht dauerhaft schadensfrei. Letztendlich bedeutet Bewahrung deshalb auch immer ein gewisses Maß an Veränderung und Erneuerung.

Zusätzlich stellen Museen Forderungen an das Raumklima, die sich von denen in Wohn- und Bürogebäuden grundsätzlich unterscheiden: „Die Gleichmäßigkeit der relativen Feuchte ist für organische Stoffe (im Museum z.B. Gemälde) wichtiger als die Konstanz der Temperatur. [...] Gerade von der Tauglichkeit der Raumklimate historischer Museen wird und wurde (zu!)viel erwartet“ [Leimer et.al, 1999] „In der ursprünglichen Bauweise werden die Gebäude konservatorischen Anforderungen an das Klima nicht gerecht.“ [Masuch, 2006] Ein konservatorisches Raumklima in einem Baudenkmal zu schaffen, stellt daher besonders hohe Anforderungen an die Planung.

## KLIMA- UND BAUTEILSIMULATION

Zu Beginn der Arbeiten für die Gebäude am Schloss Wilhelmshöhe galt es, die bestehenden Mängel der Gebäude zu erfassen und bauliche Ursachen dafür zu beschreiben. Bei den Schäden war zu untersuchen, welche durch bauliche, durch bauphysikalische Mängel oder durch natürliche Alterungsprozesse verursacht wurden.

Die Bauphysik der großenteils lange ungeheizten Gebäudeteile stellt sich besonders hinsichtlich des hygrischen Verhaltens deutlich anders dar, als in ständig genutzten Gebäuden.

Nach der Bestandsaufnahme wurden für den Weißensteinflügel und die wertvollsten Gebäudeteile der Löwenburg Simulationsmodelle für die thermisch-hygrische Simulation erstellt und insbesondere hinsichtlich des hygrischen Verhaltens der Baustoffe in vielen Varianten untersucht. Für die verlässliche Simulation der relativen Feuchte war die

Anwendung des komplexen Buffer-Storage Modells in der thermischen Simulation notwendig. [TRNSYS, 2000] Die einfache Berechnung der Luftfeuchte über eine statische Kapazität kann das komplexe Verhalten der verschiedenen Innenoberflächen nicht abbilden.

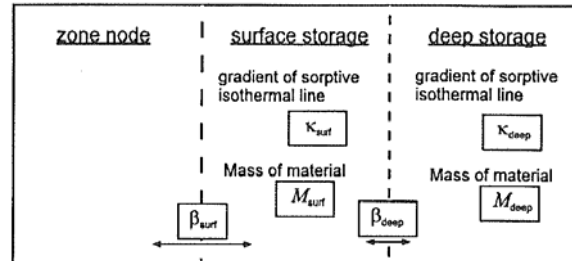


Abbildung 3 Buffer-Storage Feuchte Modell

Durch einen Abgleich mit teilweise vorhandenen Klimaaufzeichnungen konnten so letztlich Modelle mit weitgehend realistischem Verhalten erstellt werden. Damit war es möglich, die baulichen Einflüsse auf das Raumklima und die Bauteile zu variieren, um die maßgebenden Parameter herauszufinden.

Es stellte sich dabei heraus, dass beim Weißensteinflügel die relativ großen, einfach verglasten Fenster durch Fugenundichtigkeiten, Transmissionswärmeverluste und Strahlungsgewinne wesentlich zur Instabilität des Klimas und damit zur langfristigen Schädigung der Innenausstattung beitragen. Nur wenige Fenster sind bereits als Kastenfenster ausgeführt.

Für die Löwenburg ist wegen der relativ kleinen Fenster und der großen Wandflächenanteile das hygrothermische Verhalten der Tuffsteinwände besonders kritisch. Dem relativ guten thermischen Verhalten des Tuffsteins steht seine hohe Wasseraufnahme bei Schlagregen entgegen. Besonders im Bereich von Bauteilschwächungen (Fensterbrüstungen) und bei Innenwandbekleidungen (wertvolle Ledertapeten oder Holzverschalungen) deckte sich das Ergebnis einer Bauteilsimulation mit den von Restauratoren gefundenen Schadensbildern bedingt durch rückseitige Kondensatbildung.

## ZIELDISKUSSION

Das Ergebnis der Parameterstudien löste eine kontroverse Diskussion der Planungsziele aus. Aus konservatorischen Gründen war es erforderlich sowohl eine weitgehende Stabilisierung des Innenraumklimas zu erreichen als auch die Bausubstanz nach innen und nach außen möglichst unangetastet zu lassen. So war die häufigste Frage für die Simulation: „Was passiert denn, wenn wir nur diese oder jene Reparatur durchführen?“ Letztlich konnte durch die Simulation gezeigt werden, dass eine thermische Verbesserung der Fenster für die nachhaltige Sanierung der Gebäude unumgänglich ist.

## MAßNAHMEN

Eine Kastenfensterlösung mit Konditionierung der Leibung erfüllt die vielfältigen Anforderungen an die erweiterte Nutzung, da die thermische Verbesserung mit dem Sonnen- und Lichtschutz und der Außenhautsicherung kombiniert werden können.

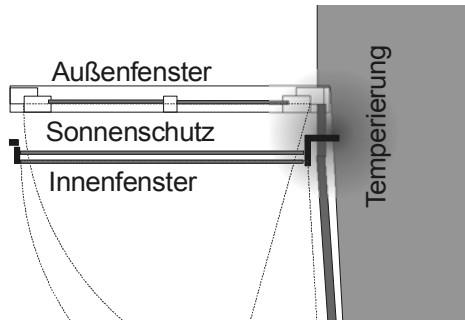


Abbildung 4: Vergleich der Maßnahmen, Klimaabweichungen

Die folgende Grafik zeigt die Auswirkung bei Verzicht auf jeweils eine Maßnahme für den Weißenstein. Dargestellt sind die Standardabweichungen vom Sollwertbereich für Temperatur und Feuchte.

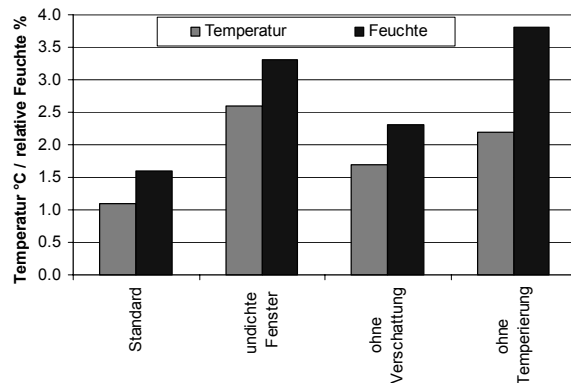


Abbildung 5: Vergleich der Maßnahmen, Klimaabweichungen

Für die Temperaturen werden jahreszeitliche Schwankung von im Mittel 15°C bis 25°C zugelassen, während die relative Feuchte zwischen 40 % und 60 % möglichst geringe kurzzeitige Schwankungen aufweisen darf. Die Bauphysik des Bauteils wurde mit einer 3D-Bauteilsimulation [HEAT3] geprüft und optimiert. Dabei ging es sowohl um den Nachweis der Tauwasserfreiheit der Konstruktion als auch um die Ermittlung der Wärmeströme in den Bereich des Kastenfensters, in den Raum sowie die Wärmeverluste nach außen.

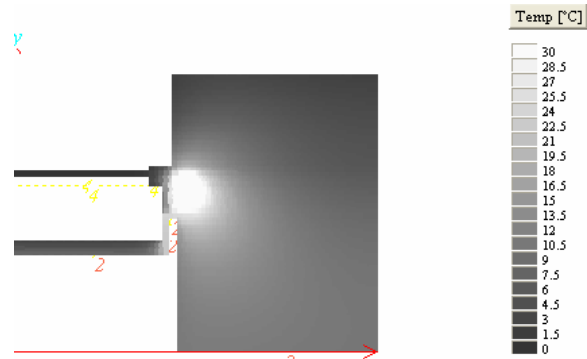


Abbildung 6: Fensterleibung mit neuer zweiter Fensterebene und Temperierung

Die Temperierung der Leibung sichert die Tauwasserfreiheit der Konstruktion und gibt über die Wandoberflächen Strahlungswärme an den Raum ab, der für die geringen Temperaturanforderungen der Innenräume weitgehend zur Stabilisierung des Klimas beiträgt.

Die Kastenfensterkonstruktion minimiert sowohl die Transmissions- als auch die Lüftungswärmeverluste erheblich, hat einen optimierten UV-Schutz und kann durch einen automatisierten Sonnenschutzbehang die Wärmeeinstrahlung in die empfindlichen Räume regeln.

## VERIFIZIERUNG

An jeweils natürlich nur bedingt vergleichbaren Projekten konnte gezeigt werden, wie dies in der Umsetzung aussehen kann und dass die in der Simulation dargestellten klimatischen und bauphysikalischen Verbesserungen tatsächlich auch realisierbar sind.

Zurzeit werden die geplanten Maßnahmen in Musterräumen geprüft. Neben der optischen Wirkung soll hier auch die Funktion durch begleitende Messungen überprüft werden, bevor das Konzept im gesamten Gebäude umgesetzt wird.

## LITERATUR

- Blomberg, Thomas, 1996, Heat Conduction in two and three Dimensions, HEAT 2/3, Lund
- Leimer, H.-P. und Bode, J. 1999. Bauphysikalische Betrachtungen zum Klimakzept am Beispiel des Herzog-Anton-Ulrich-Museums. [http://www.bbs-ingenieurgesellschaft.de/de/veroeffentlichungen\\_download](http://www.bbs-ingenieurgesellschaft.de/de/veroeffentlichungen_download)
- Masuch J. 2006. Museumsklimatisierung im Spannungsfeld klassischer und moderner Techniken, VDI-Tage der Gebäudetechnik, Leonberg.
- TRNSYS, 2000, A Transient System Simulation Program, University of Wisconsin, Madison