

Bericht

Bezeichnung des Projektes

Wissenschaftliche Begleitung: Bauvorhaben
"Energieeffizienz- und
Raumkomfortoptimierung/ Technisches
Museum Wien"

Auftraggeber

Technisches Museum Wien
Mariahilfer Strasse 212
1140 Wien

Auftrag vom / Zahl

17. März 2008/ 12000754

Projekt Nr.

2.50.00161.1.0

Sachbearbeiter

DI Tim Selke, Ing. Anita Preisler

Ausstellungsdatum	16. Dezember 2008
Ausfertigungen: Anzahl/Nr.	1 / 1
Anzahl der Seiten	32
Anzahl der Beilagen im Blatt	

Das (Die) Prüfergebnis(se) bezieht(en) sich ausschließlich auf den (die) Prüfgegenstand(stände).

Im Falle einer Vervielfältigung oder Veröffentlichung dieser Ausfertigung darf der Inhalt nur wort- und formgetreu und ohne Auslassung oder Zusatz wiedergegeben werden.

Die auszugsweise Vervielfältigung oder Veröffentlichung bedarf der schriftlichen Zustimmung des Forschungszentrums.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung und Grenzen	3
1.3	Methodik und Vorgehensweise	4
2	Energetische Analyse und Bewertung des Gebäudeverhaltens	6
2.1	Temperatur-Monitoring im Technischen Museum Wien	7
2.2	Dynamische Gebäudesimulation	9
2.3	Szenarien	12
2.4	Ergebnisdiskussion/ Fazit und Empfehlungen	13
3	Kostenanalysen	15
3.1	Gebäudehülle	15
3.1.1	Fenstertausch	15
3.1.2	Sonnenschutz	16
3.2	Natürliche Lüftung	18
3.3	Sonderausstellungsbereich	18
3.3.1	Zentrale Klimaanlage	19
3.3.2	Dezentrale Klimageräte	20
3.4	Festsaal	21
4	Maßnahmenkatalog	22
4.1	Maßnahmenübersicht (grün)	22
4.2	Optimierung Gebäudehülle (siehe Kapitel 3.1)	22
4.3	Natürliche Lüftung (siehe Kapitel 3.2)	22
4.4	Sonderausstellungsbereich (siehe Kapitel 3.3)	22
4.5	Festsaal (siehe Kapitel 3.4)	23
5	Literatur	24
	ANHANG A	25
	ANHANG B	31

1 Einführung

1.1 Motivation

Das Hauptgebäude des Technischen Museums Wien in der Mariahilfer Straße wurde in den vergangenen Dekaden einigen Sanierungsmassnahmen unterzogen. Im Vordergrund dieser Maßnahmen stand die Modernisierung des Technischen Museums hinsichtlich eines zeitgemäßen Museumsbetriebs mit nachhaltigem Exponatenschutz und hohem Raumluftkomfort für Besucher und Belegschaft.

2008 startete das Technische Museum Wien erneut eine Initiative zur nachhaltigen Verbesserung des Raumluftkomforts und der Energieeffizienz der haustechnischen Versorgung. arsenal research wurde mit der Erstellung einer Machbarkeitsstudie beauftragt, um wesentliche Problemfelder der Museumsbetriebs mit wissenschaftlichen Methoden zu analysieren und zu bewerten. Die wesentlichen Problemfelder, die an das Team von arsenal research im Vorfeld kommuniziert wurden, werden im Folgenden kurz skizziert:

Problemfeld: Sommerliche Überwärmung

Aufgrund einiger Umbaumaßnahmen (Anhebung der Glaskuppeln, Zubau eines transparenten Eingangshalle, Erhöhung der installierten Leistung zur künstlichen Beleuchtung ..) kommt es in den Sommermonaten zu überhöhten Hallenlufttemperaturen, die sich sowohl auf die thermische Behaglichkeit der Besucher/Personen im Haus als auch auf die Lebensdauer der Exponate negativ auswirken. Die auftretende sommerliche Überwärmung der Innenräume wird durch interne und externe Wärmelasten bewirkt. Insbesondere sind solare Wärmeeinträge über die transparente Gebäudehülle relevant. Transparente Elemente der Gebäudehülle sind die Fensterflächen süd-, west- und ostseitig, die Glas-Stahl-Kuppelkonstruktionen im Dach und der gläserne Eingangsbereich (Glaskobel). Hinzukommend ergibt sich ein weiterer Wärmeeintrag durch die künstliche Beleuchtung der Exponate und der Ausstellungsbereiche.

Problemfeld Lüftung

Die Belüftung der Hauptausstellungsräume des Technischen Museums erfolgt unkontrolliert über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle oder wird manuell über Fenster- bzw. Klappenöffnen durch das Personal geregelt. Eine technische Folge des unkontrollierten Lüftungskonzeptes ist ein unerwünscht hoher Staubeintrag in die Schausammlung. Andere Sonderräume und –ausstellungsbereiche weisen ebenso raumklimatische Mängel auf. Der Festsaal, der regelmäßig zu Veranstaltungen mit großer Personenzahl genutzt wird, weist sommerliche Überwärmung auf und wird nur unzureichend mit Frischluft für die Besucher versorgt. Im technische Museum wird die Ausbreitung der Cafehaus-Gerüche in den Eingangsbereich als unbefriedigend bezeichnet.

Mit dieser Studie unterstützt arsenal research den Auftraggeber bei der Identifikation von technischen Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz der Gebäudetechnik und zur Verbesserung des Raumklimas im bestehenden Haupthaus des Technischen Museums Wien. Dabei richten sich die Untersuchungen einerseits auf ein abgestimmtes Gesamtkonzept und andererseits auf eine umfassende Darstellung von Maßnahmen mit unterschiedlichem Investitionsaufwand als umfassende Entscheidungsgrundlage für die Geschäftsführung des Technischen Museums.

1.2 Zielsetzung und Grenzen

Zielsetzung

Wesentliches Ziel dieser Studie ist die Identifikation der Hauptursachen zur sommerlichen Überwärmung mit Hilfe von wissenschaftlichen Methoden. Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchungen sollen kosten-effiziente technische Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz der Gebäudetechnik und zur Verbesserung des Raumklimas erarbeitet werden. Die energetische und wirtschaftliche Bewertung der technischen Lösungsvorschläge steht im Vordergrund und soll als Entscheidungsgrundlage und Prioritätensetzung für zukünftige Modernisierungsmaßnahmen der Geschäftsführung des Technischen Museums dienen.

Weitere Ziele, die arsenal research zur Bearbeitung dieser Studie angibt, lassen sich über nach folgende Aufzählung zusammenfassen:

- Unterstützung bei der Identifikation und Dokumentation der signifikanten Problemfelder hinsichtlich der Energieeffizienz und des Innenraumkomforts
- Bündelung der hausinternen Expertise und vorhandenen Ideen zur Verbesserung der Energieeffizienz und des Innenraumkomforts
- Identifikation der wesentlichen Ursachen zur sommerlichen Überwärmung auf Basis von wissenschaftlichen Methoden (Temperatur-Monitoring, dynamische Gebäudesimulation)
- Entwicklung und Bewertung von effizienten technischen Lösungsansätzen bei gleichzeitiger energetischer und wirtschaftlicher Bewertung durch eine erste Kosten-Nutzen-Analyse.
- Erarbeiten eines Prioritätenkatalogs zu technisch und wirtschaftlich sinnvollen Maßnahmen als Entscheidungshilfe für nächste Umsetzungsschritte

Inhaltliche Grenzen der Studie

Die Methoden und Ergebnisse der Studie lassen sich nur in gewissen Grenzen verstehen. Insbesondere wird hier kurz auf die Interpretationsgrenzen der Ergebnisse zu den dynamischen Gebäudesimulationen und der Kostenanalyse eingegangen.

Die Identifikation und Bewertung der signifikanten Einflussparameter zur sommerlichen Überwärmung wird durch eine dynamische Gebäudesimulation des Technischen Museums durchgeführt. Die Gebäudemodellierung umfasst im Wesentlichen die geometrischen Gebäudedaten, bauphysikalischen Parameter der Gebäudehülle sowie die Betriebs- und Nutzungsprofile der verschiedenen internen thermischen Lasten. Das geometrische Gebäudemodell wurde basierend auf gültigen Architekturplänen sinnvoll vereinfacht. Weiters wurden mannigfache Werte erforderlicher Eingabeparameter definiert und in die Modellierung eingearbeitet. Um den zeitlichen Modellierungsaufwand auf ein geeignetes Maß zu reduzieren, wurden bei fehlenden Gebäudedaten seitens arsenal research sinnvolle Annahmen getroffen.

Ziel der hier getroffenen Annahmen ist es, das Gebäudeverhalten prinzipiell nachrechnen zu können und bei Variationen der Eingabedaten relative thermischen Auswirkung quantifizieren zu können. Absolute Aussagen zum Temperaturverhalten der Innenrumluft sind mit diesem Modellansatz nicht möglich.

Die Kostenanalyse stützt sich einerseits auf Annahmen zu Flächen und Volumina und repräsentieren Richtwerte zu Kosten der untersuchten technischen Sanierungsmaßnahmen. Eine

detaillierte Kostenanalyse auf Basis konkreter Angebote von geeigneter Marktakteuren sollte zwingend erfolgen. Die Kostanalyse soll erste Hinweise zu geeigneten technischen Maßnahmen geben und eine Entscheidungshilfe für das zu erwartenden Investitionsvolumen pro Maßnahme darstellen.

arsenal research ist ein außeruniversitäres Forschungsunternehmen und kann naturgemäß die technischen Detailfragen der Planung und Umsetzbarkeit für die vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen im Rahmen dieser Studie nicht letztlich klären.

1.3 Methodik und Vorgehensweise

Zur Erreichung der oben aufgeführten Ziele wurden die Arbeiten mittels strukturierter Vorgehensweise und geeigneter Methoden durchgeführt. Im Folgenden werden sowohl die Vorgehensweise als auch die eingesetzten Methoden kurz vorgestellt.

Workshop

Um Schwerpunkte der wissenschaftlichen Begleitung zu setzen, hat arsenal research einen Workshops mit dem Auftraggeber durchgeführt. Im Wesentlichen stand die Bündelung und Prioritätensetzung der existierenden Problemfelder im Vordergrund. Der Auftraggeber und arsenal research legten hohen Wert auf die Teilnahme der hausinternen Spezialisten, um Problemfelder aus unterschiedlichen Perspektiven und bereits vorhandene Ideen zu Lösungsansätzen zu sammeln und zu dokumentieren. Das Protokoll des Workshop vom 06.05.2008 ist dem Anhang A zu entnehmen.

Temperaturmessungen

Vor Beauftragung der Studie hat arsenal research bereits ein Temperatur-Monitoring an ausgewählten Positionen des technischen Museum gestartet. D.h. im Gebäude wurden 10 Temperatursensoren an geeigneten Positionen im Technische Museum Wien installiert, um den Jahresverlauf der auftretenden Temperaturen an kritischen Positionen aufzuzeichnen und zu dokumentieren. Schwerpunkt des Monitorings ist die Datenakquise von Temperaturwerten im Bereich der oberen großen Glaskuppeln (Haupttrakt, Ost- und Westkuppel). Die Messdatenaufzeichnungen erfolgte im Zeitraum November 2006 bis November 2007.

Einsatz von Expertentools

arsenal hat zur Bewertung der gesamten thermischen Energiebilanzierung des Technischen Museums die Methode der dynamischen Gebäudesimulation eingesetzt. Im Gegensatz zu statischen Simulationen, die jeweils nur eine Momentaufnahme liefern, können dynamische Simulationen das komplexe Zusammenspiel aller Komponenten eines Gebäudes detailliert analysieren und so das Verhalten eines Gebäudes in Abhängigkeit äußerer (Klima) und innerer (Personen, interne Lasten) Einflüsse berechnen. Basierend auf den Architekturpläne des Gebäudes wurde ein vereinfachtes Gebäudemodell entwickelt. Mit Hilfe der vorliegenden Temperaturmessdaten sowie gemessenen Werten des Heizenergieverbrauchs konnte das Simulationsmodell auf Plausibilität geprüft und abgeglichen werden.

Auf Basis eines adaptierten Gebäudemodells werden Detailanalysen durchgeführt, die im Wesentlichen zum Ziel haben, das

Reduktionspotenzial ausgewählter technischer Maßnahmen zu quantifizieren.

Kostenanalyse

Auf Basis der Erkenntnisse durch die vorangestellten Untersuchungen (Temperaturmessung, Energetische Erstanalyse und dynamische Gebäudesimulation) wurden zentrale Faktoren, die im Wesentlichen die sommerliche Überwärmung und andere Problemfelder bewirken, identifiziert und quantifiziert. arsenal research hat daraufhin einen geeigneten Maßnahmenkatalog entwickelt und erste Kostenanalysen für Sanierungsvorschläge durchgeführt. Eine erste Bewertung ist durch die Benennung der Vor- und Nachteile gegeben.

Der Aufbau der Studie orientiert sich an der oben aufgeführten Vorgehensweise.

2 Energetische Analyse und Bewertung des Gebäudeverhaltens

Die Entwicklung eines Kriterienkatalogs für geeignete Maßnahmen zur signifikanten Verbesserung des Raumklimas im bestehenden Haupthaus des Technischen Museums Wien setzt eine detaillierte Kenntnis des Ist-Zustandes und thermischen Gebäudeverhaltens voraus. Im Zuge der Untersuchungen hat arsenal research die Anwendung von drei unterschiedlichen Methoden favorisiert.

Zur Dokumentation des Ist-Zustandes hinsichtlich des Temperaturverhaltens der Raumluft im Ausstellungsbereich hat arsenal research gezielt an ausgewählten Positionen im Bereich der großen Lichtkuppeln Temperatursensoren installiert und ein einjähriges Monitoring durchgeführt.

Über die Methode der dynamischen Gebäudesimulation wird ein tiefes Verständnis zu den wesentlichen Einflussfaktoren auf das thermische Gebäudeverhalten erzielt. Der große Vorteil dieser Methode besteht in der Flexibilität der zu untersuchenden Fälle. Sobald ein im Wesentlichen zum Ziel haben, das Reduktionspotenzial ausgewählter technischer Maßnahmen zu quantifizieren.

Im den folgenden Unterkapiteln werden die wesentlichen Arbeitsschritte der unterschiedlichen Methoden zur energetischen Analyse des Gebäudeverhaltens dokumentiert und die wesentlichen Ergebnisse diskutiert.

2.1 Temperatur-Monitoring im Technischen Museum Wien

November 2006 wurden in Abstimmung mit dem Technischen Museum an ausgewählten Positionen im Haupthaus 10 Temperaturmessgeräte installiert und in Betrieb genommen. Das Temperatur-Monitoring wurde im Zeitraum von November 2006 bis Ende November 2007 durchgeführt, d.h. es liegen Messdaten vor, die den Temperaturverlauf der jeweiligen Messstelle über ein ganzes Jahr repräsentieren. Aus diversen technischen Gründen sind die Datenaufzeichnungen nicht lückenlos erfolgt, jedoch sind die essentiellen Messdaten mit auftretenden Temperaturspitzen im Sommer 2007 vorhanden.

arsenal research hat dazu so genannte Mini-Logger vom Typ testostor 1751 eingesetzt. Die einzelnen Geräte arbeiten mit einem eingebauten Sensor und erfassen den Messwert in einem definierten Zeitintervall und legt die Messdaten im internen Datenspeicher ab. Da die Mini-Logger eine begrenzte Speicherkapazität haben, wurden diese in regelmäßigen Zeitabständen von arsenal research Mitarbeitern ausgelesen und die Messdaten gesichert. Die aufgezeichneten Messdaten liegen als Temperaturmittelwerte in 30 Minuten Intervallen vor und wurden durch arsenal research ausgewertet. Die wesentlichen Ergebnisse des Temperatur-Monitorings wurde dem Auftraggeber am 12. August 2008 durch eine Präsentation und diskussionsrunde vorgestellt. Sämtliche aufbereitete Datensätze des Temperatur-Monitorings wurde dem Technischen Museum in Form von Excel-Dateien übermittelt.

Die ausgewählten 10 Messpositionen im Technischen Museum sind folgende:

N°	Anzahl	Messposition
1	1	206 Serverraum
2	3	Zwischenraum der großen Tageslichtkuppel
3	2	Zwischenraum der kleinen Tageslichtkuppel (Ost)
4	2	Hallenluft unterhalb der großen Tageslichtkuppel (Wand + Hallenkran)
5	1	Hallenluft unterhalb der kleinen Tageslichtkuppel (Ost)
6	1	Außentemperatur

Ein Bilddokumentation zu den ausgewählten Messpositionen ist dem ANHANG B zu entnehmen.

Wesentliche Ziele des Temperatur-Monitorings sind:

- Dokumentation der auftretenden Lufttemperaturen in den oberen Luftschichten unterhalb der großen Lichtkuppeln im Technischen Museum über ein ganzes Jahr
- Identifikation und Dokumentation der maximal auftretenden Lufttemperaturen im Sommer, insbesondere auch in den Zwischenräumen der zweischaligen Tageslichtkuppeln.
- Erstanalyse hinsichtlich einer Kopplung zwischen den hohen Innenraumtemperaturen und hoher auftretender Solarstrahlung und Außenlufttemperatur
- Datenbasis zur Validierung des thermischen Gebäudeverhaltens im Rahmen der dynamischen Gebäudesimulation

Hauptfokus der Auswertung lag auf der sommerlichen Überwärmung der Hallenluft im Bereich der oberen Luftschichten unterhalb der Tageslichtkuppeln. Abbildung XXX zeigt exemplarisch Temperaturwerte von 6 verschiedenen Messpositionen im Bereich der großen Tageslichtkuppel über drei Tage im Juli 2007. Die Mini-Logger sind so montiert, dass sie nicht der direkten

¹ Siehe <http://www.testo.de>

Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Ein einziger Mini-Logger wurde in der Mitte des Zwischenraums der großen Lichtkuppel montiert und ist somit der direkt Sonnenstrahlung ausgesetzt.

Vom 14. bis zum 16. Juli stiegen die Temperaturwerte der Umgebungsluft in den Nachmittagsstunden über $T_{\text{Umg}} > 35^{\circ}\text{C}$. Am 14. und 15. Juli 2007 gab es außerdem hohe solare Einträge, denn die Temperaturspitzen von bis zu $T_{\text{Mitte}} > 55^{\circ}\text{C}$ lassen sich nur über die Auswirkungen der direkten Sonnenstrahlung interpretieren. Hingegen unterscheidet sich der 16. Juli 2007 von den beiden Tagen zuvor sowohl durch eine extrem hohe Außenlufttemperatur $T_{\text{Umg}} \sim 39^{\circ}\text{C}$ als auch durch eine geringere solare Einstrahlung.

Im Zwischenraum unterhalb des Glasdaches treten maximale Raumlufttemperaturen um $T_{\text{ZR}} < 45^{\circ}\text{C}$ auf. Diese sind allerdings aufgrund der Luftführung durch das Ablüftung über die Brandschutzklappen in den oberen Hallenluftschichten thermisch geringfügig wirksam. Unterhalb der großen Lichtkuppel (Südwand und Hallenkran) treten maximale Raumlufttemperaturen von rund $T_{\text{Halle}} < 32^{\circ}\text{C}$. Die maximale Raumlufttemperaturen sind hier am 14. und 15. Juli 2007 höher als am 16. Juli, wenngleich die Außenlufttemperatur auf $T_{\text{Umg}} = 39^{\circ}\text{C}$ steigt.

D.h. die solare Einstrahlung über die Tageslichtkuppel hat eine höhere Auswirkung auf die Temperaturspitzen in den oberen Temperaturschichten der Halle als hohe Umgebungslufttemperaturen. Ein Optimierungspotenzial des Sonnenschutzes der Lichtkuppeln lässt sich auf Basis dieser Messdaten ableiten.

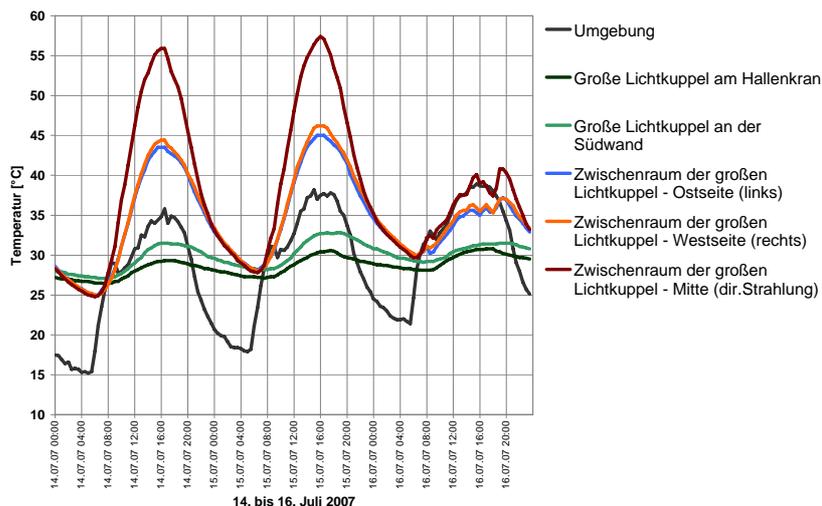


Abbildung 1: Exemplarische Temperaturwerte von 6 verschiedenen Messpositionen im Bereich der großen Tageslichtkuppel über drei Tage im Juli 2007.

2.2 Dynamische Gebäudesimulation

In der Einführung wurde bereits beschrieben, dass arsenal zur Bewertung der gesamten thermischen Energiebilanzierung des Technischen Museums für den Einsatz der Methode der dynamischen Gebäudesimulation verwendet hat.

Dynamische Gebäudesimulation bietet die Möglichkeit ein Gebäudemodell in unterschiedlich hoher Detailtiefe nachzubilden und zu berechnen. Dabei können verschiedenste Zeiträume und Variationen simuliert werden. Sie bieten außerdem die Möglichkeit nicht nur den Nutzenergiebedarf eines Gebäudes sondern auch die geplanten oder existierenden Energiesysteme, wie zum Beispiel Heiz- Kühl und Lüftungsanlagen, in die Simulation mit einzubeziehen. Durch die Anwendung von dynamischer Simulation lassen sich prinzipiell Aussagen zum energetischen Gebäudeverhalten machen. Generell lassen sich weiters neben den energetischen Bewertungen auch Auswirkungen auf den zu erwartenden Raumkomfort ableiten.

Im Rahmen dieser Studie wurde die Simulationsumgebung ENERGYplus² verwendet. In einem ersten Schritt wurde basierend auf den bestehenden Architekturpläne eine 3D-Modell generiert. Wesentlich für diesen Arbeitsschritt ist die Modellierung einer sinnvoll vereinfachten Gebäudehülle. Die Innenarchitektur mit ihren Raum- und Funktionsflächen ist in diesem Modell nicht berücksichtigt. Ebenso entfiel in dieser Voruntersuchung die Modellierung des modernisierten Eingangsbereichs mit den hohen Glasanteilen in der Außenhülle. Abbildung 2 zeigt das 3D-modellierte Gebäude des Technischen Museums.

Wesentliches Ziel dieser Untersuchungen ist das Aufzeigen der Dämpfungseffekte ausgewählter technischer Maßnahmen zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung. Außerdem lassen sich Aussagen über die Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf formulieren. Es war nicht Ziel das thermische Gebäudeverhalten exakt zu simulieren, sondern vielmehr ein geeignetes Werkzeug zu verwenden, um die Auswirkungen geeigneter Sanierungsmassnahmen auf

² Beschreibung der Software ENERGYplus unter http://apps1.eere.energy.gov/buildings/software_catalog/ »Wissenschaftliche Begleitung: Bauvorhaben/ Energieeffizienz- und Raumkomfortplanung/ Technisches Museum Wien«

die Raumlufftemperaturen im Sommer quantifizieren zu können. Das Gebäudemodell wurde sukzessive an die Messergebnisse des Temperatur-Monitorings und an der Heizenergieverbrauch adaptiert, d.h. es gibt eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulationsergebnissen.

Im Folgenden werden die wesentlichen Annahmen zur Bauphysik und der Nutzung des Gebäudes beschrieben:

- Gebäudehülle: $U = 2,0 \text{ [W/m}^2\text{K]}^3$
- Kastenfenster: $U = 3,7 \text{ [W/m}^2\text{K]}/ g = 0,80 \text{ [-]}^3$
- Dachflächen: $U = 1,1 \text{ [W/m}^2\text{K]} g = 0,60 \text{ [-]}^3$
- Verschattungseinrichtung berücksichtigt insbesondere der Tageslichtkuppeln, die Wirksamkeit der existierenden Verschattung wurden abgeschätzt.
- Konstanter Luftwechsel von 00:00 – 24:00 Uhr aufgrund undichter Gebäudehülle und geöffneter Türen und Fenster $LWR : 0.2 \text{ [1/h]}^4$
- Personen: 3000 Besucher pro Tag (linear verteilt)⁵
MO – FR 09:00 – 18:00 Uhr
SA / SO 10:00 – 18:00 Uhr
- Beleuchtung:
Thermisch wirksame Spitzenlast 180 [kW] entspricht ungefähr einem Drittel der gesamten installierten elektrischen Leistung⁵
Konstant während der Öffnungszeiten (s.O.)

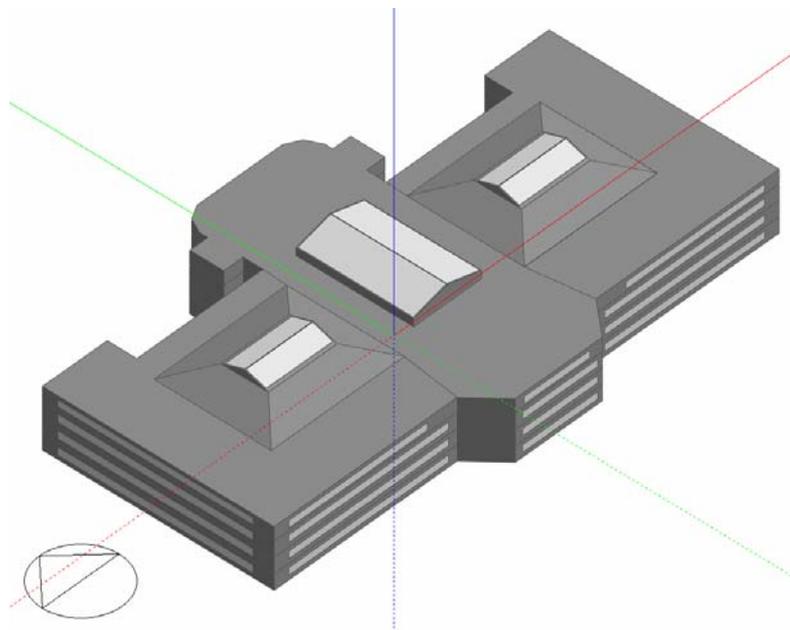


Abbildung 2: Ansicht 3D-Gebäudemodell des Technischen Museum Wien

³ Abschätzung in Anlehnung an Diplomarbeit Ertl, Ulla, 'Energetisch, strukturelle Altbaumodernisierung am Beispiel eines Um- und Ausbaus eines gründerzeitlichen Institutsgebäudes der Universität für Bodenkultur', BOKU Wien, Institut für Konstruktivem Ingenieurbau, Wien September 2004

⁴ Abgeschätzt

⁵ Aussage von Herrn Laurenz Seebauer, Technisches Museum Wien

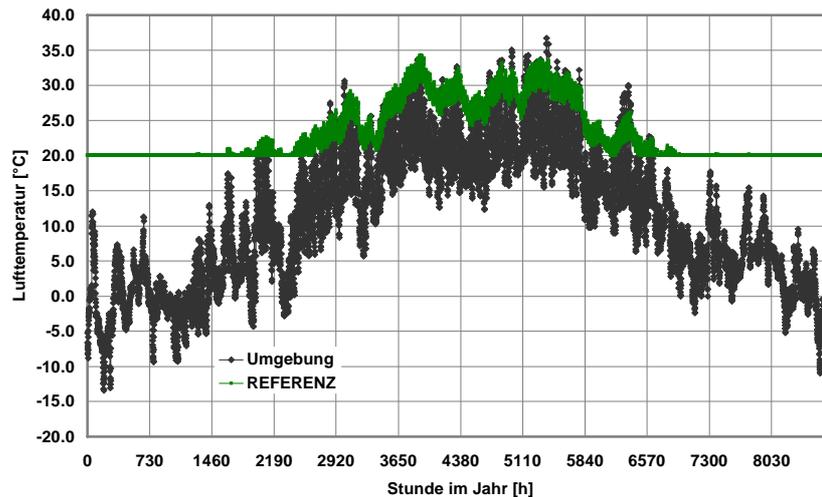


Abbildung 3: Simulationsergebnisse zum Temperaturverlauf der Hallen- und der Umgebungsluft über ein Jahr. Basis ist ein Wetterdatensatz vom Standort Wien Schwechat IWECC.

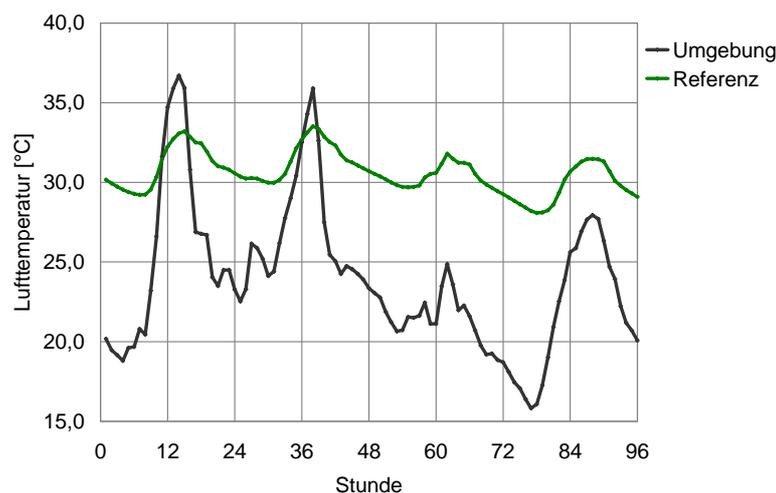


Abbildung 4: Simulationsergebnisse zum Temperaturverlauf der Hallen- und der Umgebungsluft an vier warmen Augusttagen. Basis ist ein Wetterdatensatz vom Standort Wien Schwechat IWECC.

Nach einigen Parameteradaptierungen wurde ein geeignetes Referenzgebäudemodell des Technischen Museums entwickelt. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen den Temperaturverlauf der Hallenluft und der Umgebungsluft als Resultat der Simulationsrechnungen mit der Simulationssoftware ENERGYplus. Den Rechnungen wurde ein Wetterdatensatz vom Standort Wien Schwechat hinterlegt, da dieser insbesondere sommerliche Umgebungstemperaturwerte von $T_{Umgebung} > 35^{\circ}\text{C}$ enthält. Hinsichtlich der Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation des Referenzmodells lassen sich folgende wesentliche Erkenntnisse formulieren:

- Die Simulationen des Referenzgebäudemodells berechnet einen jährlichen liefert Heizenergiebedarf von ca. 1.5 GWh. Berücksichtigt man Verteilverluste, Wetterunterschiede und den zusätzlichen Warmwasserbedarf des Museums - so korrespondiert dieser Wert ausreichend gut mit den gemessenen Verbrauchszahlen von 1.8 und 2 GWh in den Jahren 2004 bis 2006.
- Hinsichtlich der Temperatur korrespondieren die Simulationsergebnisse ausreichend genau mit den gemessenen Temperaturwerten der Hallenluft aus dem Temperatur-Monitoring vom Sommer 2007. In einer heißen

Sommerwoche erwärmt sich die Hallenlufttemperatur über den Tagesverlauf etwa um 4 Kelvin. Die maximal errechneten Temperaturen erreichen etwa $T_{\text{Halle}} = 33^{\circ}\text{C}$.

2.3 Szenarien

Nach dem das Referenzgebäudemodell existiert und die Simulationsergebnisse vorliegen, lassen sich nun den Auswirkungen verschiedener Sanierungsmassnahmen durch Parametervariation in der Simulationsumgebung abbilden. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden einige interessante Szenarien mit entsprechenden Sanierungsmassnahmen definiert und durch entsprechende Parametersätze im Gebäudemodell hinterlegt.

Szenario I

Beleuchtungsszenario

Die Beleuchtungsmittel werden energieeffizient substituiert. Gemäß Aussage des Lichtplaners kann durch die Modernisierung die thermisch wirksame Last auf ein Drittel reduziert werden. D.h. konkret werden in dieser Simulation nur 60 kW Wärmelast durch die Beleuchtung zu den Öffnungszeiten modelliert. Die Quantifizierung dieses Szenario ist von hohem Interesse, da das Technische Museum die Modernisierung umsetzen wird.

Szenario II

Verbesserte Abschattungseinrichtung

Insbesondere werden die Fenster der West- und Südfassade mit geeigneten externe Verschattungseinrichtungen ausgestattet. Die Verschattung wird bei einer solaren Strahlung von 200 W/m^2 auf die horizontale Fläche aktiviert.

Szenario III

Verbesserte Gebäudehülle

Durch geeignete Sanierungsmassnahmen wird die natürliche unkontrollierte Belüftung von Luftwechselrate 0.2 1/h um die Hälfte reduziert auf 0.1 1/h .

Abbildung 5 zeigt die Auswirkungen der drei untersuchten Szenarien auf die Temperaturverläufe der Hallenluft an vier Augusttagen. Die schwarze Linie repräsentiert darin den Temperaturverlauf der Umgebungsluft und die grüne Linie den Referenzfall.

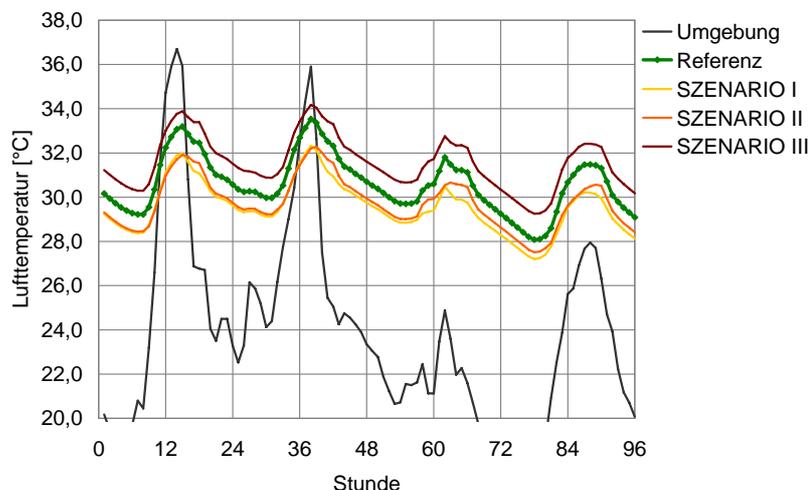


Abbildung 5: Simulationsergebnisse zu den SZENARIEN mit unterschiedlichen Sanierungsmassnahmen für die ausgewählten Augusttage.

2.4 Ergebnisdiskussion/ Fazit und Empfehlungen

Ergebnisdiskussion

Im Folgende wird kurz auf die wesentlichen Ergebnisse der Simulationsvarianten eingegangen.

- Durch den Einsatz einer effizienten Beleuchtung lässt sich in einer heißen Sommerwoche die Hallenlufttemperatur über um etwa 1 Kelvin senken. D.h. die maximal errechnete Temperatur erreicht etwa $T_{\text{Halle}} = 32^{\circ}\text{C}$. Aufgrund der geringeren thermischen Last erhöht sich der Heizenergiebedarf um etwa 12 Prozent auf etwa 1.69 GWh.
- Durch den Einsatz einer effektiven Verschattungseinrichtung insbesondere für die West- und Südfassade lässt sich in einer heißen Sommerwoche die Hallenlufttemperatur über um etwa 1 Kelvin senken. D.h. die maximal errechnete Temperatur erreicht etwa $T_{\text{Halle}} = 32^{\circ}\text{C}$. Aufgrund der geringeren passiven solaren Gewinne im Winter erhöht sich der Heizenergiebedarf um etwa 3 Prozent auf etwa 1.55 GWh.
- Über die Verringerung der unkontrollierten Infiltration von warmer Außenluft lässt sich in diesem Fall eine Erhöhung der Lufttemperatur konstatieren. Ebenso wirkt sich diese Maßnahme im Winter nicht signifikant auf den Heizenergiebedarf aus. Hier wurden rund 1.49 GWh berechnet.

Anmerkung: Das entwickelte Gebäudemodell wurde mit Messwerten aus Heizenergieverbrauch und Temperaturentwicklung abgeglichen und es gibt gute Übereinstimmungen. Es enthält keine thermische Zonierung, die die unterschiedlichen Temperaturen im Gebäude auf unterschiedlichen Höhen abbilden kann. Das Gebäudemodell berechnet nur eine repräsentative Temperatur für die gesamte Luftmenge. Große Unsicherheiten bestehen in der Annahme des Luftwechsel aufgrund natürliche und unkontrollierte Infiltration durch Öffnungen in der Gebäudehülle. Die Ergebnisse der Simulation sollten stets mit den Annahmen der Modellierung interpretiert werden.

Fazit und Empfehlungen

Einzelne Maßnahmen erwirken keine signifikante Verbesserung der sommerlichen Überwärmung in der Haupthalle. Vielmehr ist ein Gesamtpaket an effektiven Maßnahmen zu entwickeln vor dem Hintergrund der Energieeffizienz und der wesentlichen Verbesserung des Raumkomfort in den Sommertagen. Aufgrund der massiven Bauweise überwärmt sich das Gebäude bei lang anhaltenden Warmwetterperioden. D.h. sobald die Wärme einmal im massiven Baukörper thermisch gespeichert können die Einzelmaßnahmen in diesem überwärmten Gebäudezustand nicht mehr effizient wirken.

Nach derzeitigem Erkenntnis sind folgende Maßnahmen und weitere Schritte zielführend:

- Einsatz einer energieeffizienten Beleuchtung, d.h. sommerliche Überwärmung wird vermindert und der Heizenergiebedarf steigt.
- Effektiver und steuerbarer Sonnenschutz insbesondere für West- und Südfassade und ein zusätzlich verbesserter externer Sonnenschutz der Tageslichtkuppeln verringert die hohen Wärmelasten im Sommer.
- Die Auswirkungen des modernisierten Eingangsbereichs mit den hohen Glasflächenanteilen wurde in dieser Studie nicht mit untersucht. D.h. hier sollte sich eine zusätzliche Detailanalyse anschließen.

- Kontrollierte Zulufttemperierung (oder sogar Klimatisierung der Zuluft..) bei gleichzeitiger zur Verbesserung der Gebäudedichtheit. Hier wird die unkontrollierte Infiltration der Umgebungsluft über die Öffnungen der Gebäudehülle vermindert. Dies wird sich vermindern auf den Heizenergiebedarf auswirken und im Sommer wird kühlere Luft in das Gebäude zirkuliert.
- Verbesserung der Gebäudehülle (Luftdichtheit; Energiedurchlassgrad, U-Wert) wird in erster Linie den hohen Heizenergiebedarf signifikant senken. Hier gilt es die richtige Balance zwischen den Maßnahmen zu finden, um nicht die sommerliche Überwärmung zu befördern.
- Gezieltes Nachtlüften im Sommer über die Tageslichtkuppel. Die Lufttemperaturen in der Nacht sollten deutlich unter der vorherrschenden Hallentemperatur liegen. Auf diese Weise lassen sich massiven Mauern des Gebäudes thermisch entladen.

3 Kostenanalysen

In einem nächsten Schritt wurden erste Kostenanalysen für die zentralen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Dabei wurden ausgehend von den übermittelten Plänen und dem modellierten Gebäudemodell die entsprechenden Massen (Grundflächen, Fassadenflächen, Fensterflächen, usw.) ermittelt und für die unterschiedlichen Maßnahmen herangezogen.

3.1 Gebäudehülle

Als zentrales Thema für eine energetische Sanierung im Technischen Museum Wien hat sich wie schon vorher beschrieben, die Sanierung der Gebäudehülle herausgestellt. Dieser Bereich zeigt neben einer effizienten künstlichen Beleuchtung die größten Auswirkungen auf Energieeffizienz und Steigerung des Innenraumkomforts.

Es muss hier nochmals darauf hingewiesen werden, dass jegliche haustechnische Sanierung oder Neuinstallation zur Heizung, Kühlung oder Belüftung im Innenraum des Technischen Museums, ohne eine maßgebliche Sanierung der Gebäudehülle, aus energetischer Sicht nicht sinnvoll ist. Grund dafür ist, dass durch den schlechten Zustand vor allem der Fenster, die bereitgestellte Wärme, Kälte oder Frischluft zu einem großen Teil wieder über die derzeit vorhandenen Fenster aus dem Gebäude entweichen würde.

Im Fall der Kühlung kann man sogar davon ausgehen, dass mit einer geeigneten Fensterqualität in Bezug auf U-Wert und g-Wert, sowie einer entsprechenden Verschattung der Überhitzungsproblematik wesentlich entgegengewirkt werden kann.

3.1.1 Fenstertausch

Eine Verbesserung der Fensterqualität hat aus derzeitiger Sicht die größten Auswirkungen auf eine energetische Sanierung und Schutz der ausgestellten Exponate des Technischen Museums. Dadurch könnten folgenden derzeitig vorhandenen Mängeln maßgebliche entgegen gewirkt werden:

- Überhitzung im Sommer
- Staubeindringen in den Innenraum
- Wärmeverluste im Winter
- Unkontrollierte Luftzirkulation

Wichtig bei der Definition der Verglasung ist die Bestimmung der u-Werte und g-Werte, wobei ein Zielwert von $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (u-Wert) für neue Kastenfenster angestrebt werden sollte. Durch den g-Wert der Verglasung kann der Überhitzungsgefahr wesentlich entgegengewirkt werden. Daher sollte in Bereichen in denen derzeit der Solareintrag im Sommer zu hoch ist ein niedriger g-Wert (0,2 bis 0,4) gewählt werden.

	Fensterfläche [m ²]	Richtwerte zu Kosten [€]
Nordfassade	661	627.950
Ostfassade	384	364.800
Südfassade	822	780.900
Westfassade	388	368.600
Gesamt	2.255	2.142.250

Tabelle 1: Richtwerte zu Kosten für Fenstertausch

Tabelle 1 zeigt ausgehend von den erhobenen Fensterflächen an jeder Fassadenorientierung, eine erste Abschätzung der Kosten für einen Fenstertausch. Es wurden spezifische Kosten von € 950/m² Fensterfläche angesetzt. Dieser Wert gilt für ein mehrflügeliges Kastenfenster mit Sprossenteilung, Instandsetzung in denkmalgerechter Ausführung, Ausbau und Wiedereinbau⁶.

3.1.2 Sonnenschutz

Sonnenschutzeinrichtungen sind als Maßnahme gegen die derzeit auftretende Überhitzung im Sommer durchaus wirksam, was die durchgeführten Simulationen auch gezeigt haben. Dabei ist aber anzumerken, dass bei den Simulationen von einem außen liegenden Sonnenschutz ausgegangen wurde.

Falls aus Gründen des Denkmalschutzes kein außen liegender Sonnenschutz möglich ist, gibt es noch die Möglichkeit einen Sonnenschutz im Kastenfenster vorzusehen, dessen Wirksamkeit aber deutlich unter dem eines außen liegenden Sonnenschutzes liegt. Zu einem rein innen liegenden Sonnenschutz kann man aus energetischer Sicht nicht raten, da die auftretende Solarstrahlung und damit Wärme dennoch in den Innenraum kommt und lediglich ein Blendschutz gewährleistet werden kann.

Tabelle 2 zeigt ausgehend von den erhobenen Fensterflächen an jeder Fassadenorientierung, eine erste Abschätzung der Kosten für Sonnenschutzeinrichtungen. Für außen liegenden Sonnenschutz wurden spezifische Kosten von € 210/m² Fensterfläche angesetzt, für den Sonnenschutz im Kastenfenster € 110/m² Fensterfläche. Diese Werte gelten für Aluminiumlamellen 80mm in Neubau-Ausführungsart und Elektroantrieb⁷

	Fensterfläche [m ²]	Außen liegender Sonnenschutz [€]	Sonnenschutz im Kastenfenster [€]
Nordfassade	661	138.810	72.710
Ostfassade	384	80.640	42.240
Südfassade	822	172.620	90.420
Westfassade	388	81.480	42.680
Gesamt	2.255	473.550	248.050

Tabelle 2: Richtwerte zu Kosten für Sonnenschutz

⁶ Quelle: BKI Baukosten 2004 Teil 2: Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente; incl. MwSt.; S 365; Pos. 84; Korrekturfaktor 1,1

⁷ Quelle: BKI Baukosten 2004 Teil 2: Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente; incl. MwSt.; S 225; Jalousien Pos. 03; Korrekturfaktor 1,1

Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben kann der Sonnenschutz auch über einen entsprechend niedrigen g-Wert erreicht werden, was jedoch einen Fenstertausch voraussetzt. Weiters ist dabei auch noch zu beachten, dass dieser gewählte Energiedurchlassgrad (g-Wert) dann immer vorherrscht, und somit auch eventuell gewünscht solare Gewinne im Winter verloren gehen. Andererseits könnte dadurch das zeit- und kostenintensive Bedienen und Warten derartiger vieler Sonnenschutzvorrichtungen vermieden werden.

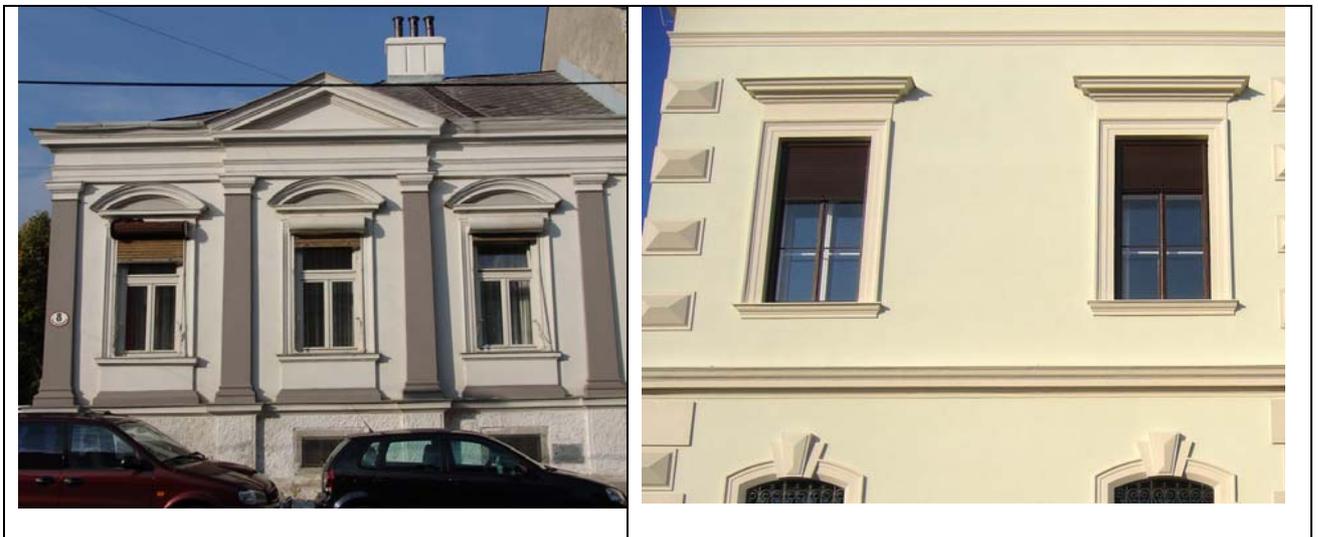


Abbildung 6: Denkmalgeschützte Gebäude mit außen montierten Rollläden (witterungsbeständig, formstabil)



Abbildung 7: Denkmalgeschützte Gebäude mit Blendschutzrollläden im Kasten-Zwischenraum

3.2 Natürliche Lüftung

Generell muss festgehalten werden, dass im gesamten Technischen Museum Wien aufgrund der undichten Fenster eine unkontrollierbare Luftzirkulation vorherrscht. In den Sommermonaten wird die natürliche Luftzirkulation durch das Öffnen von Brandschutzklappen im Kuppelbereich verstärkt, um der Überhitzungsproblematik entgegenzuwirken. Das natürliche Lüften des Gebäudes ist eine energetisch durchaus sinnvolle Maßnahme zur Verringerung der Überhitzung.

Es treten jedoch derzeit folgende Probleme auf:

- Staubeintrag durch die undichten Fenster, wodurch die ausgestellten Exponate zu leiden haben
- Die Brandschutzklappen sind weder von den Dimensionen, noch von der Motorbeschaffenheit dafür ausgelegt im Sommer täglich geöffnet und geschlossen zu werden

Als Maßnahme sollte in einem gesonderten Projekt untersucht werden, wie natürliche Lüftung im Technischen Museum effizient genutzt werden kann. Dies schließt eine detaillierte Analyse der Luftströmung mittels Strömungssimulation mit unterschiedlichen Dimensionen von Lüftungsklappen mit ein. Weiters muss bei der Auslegung der Einströmöffnungen in das Gebäude das Staubeindringen verhindert werden (Bsp.: Verwendung von Filter). Da derzeit weder die erforderliche Anzahl oder Dimensionen an Lüftungsklappen im Kuppelbereich, noch sinnvolle Einströmsituationen untersucht wurden, konnte an dieser Stelle noch keine Kostenanalyse durchgeführt werden.

3.3 Sonderausstellungsbereich

Der Sonderausstellungsbereich des Technischen Museum Wien ist der Ausstellungsbereich in dem thematisch wechselnde Ausstellungen für eine gewisse Zeit (üblicherweise ein paar Monate) stattfinden. Dieser Bereich unterscheidet sich daher etwas vom restlichen Ausstellungsbereich, da hier auch durchaus wertvolle Leihgaben von anderen Museen ausgestellt werden. Der gesamte Ausstellungsbereich des Technischen Museum Wien unterliegt wie bereits beschrieben saisonalen Temperaturschwankungen, da es mit der derzeit vorhandenen Gebäudehüllenqualität und installierten Gebäudetechnik nicht möglich ist, eine Überhitzung im Sommer zu verhindern. Weiters kann durch die undichten Fenster Staub in den Ausstellungsbereich unkontrolliert eindringen, was bei bestimmten Exponaten zu Schäden führen kann. Diese Umstände sind gerade für den Sonderausstellungsbereiche sehr problematisch, da das Ausstellen von bestimmten Leihgaben mit dem Gewährleisten von konstanten Raumkonditionen verbunden ist.

Wenn auf das Ausstellen von derartigen Exponaten nicht verzichtet werden will sind zwei Maßnahmen erforderlich um konstante Raumkonditionen zu gewährleisten:

- Fenstertausch: siehe Kapitel 3.1.1
- Bauliche Trennung des Sonderausstellungsbereiches vom restlichen Ausstellungsbereich. Das heißt, dass die derzeit vorhandenen Öffnungen zwischen Sonderausstellungsbereich und dem restlichen Ausstellungsbereich verschlossen werden.
- Einbau einer Klimaanlage: siehe folgende Kapitel

3.3.1 Zentrale Klimaanlage

Durch eine zentrale Klimaanlage könnte die Raumluft im Sonderausstellungsbereich in einem bestimmten Temperatur- und Feuchtebereich gehalten werden. Bei der Auslegung dieser Klimaanlage sind zwei Parameter entscheidend:

- Abzuführende Kühllast über die Klimaanlage
- Erforderlicher Frischluftvolumenstrom durch die Besucheranzahl

In Tabelle 3 sind zwei Szenarien hinsichtlich technischer Daten und erster Investitionskosten dargestellt. Zu Szenario 1 muss angemerkt werden, dass eine verbleibende Kühllast von 16 W/m² nur durch eine sehr gute Gebäudehüllenqualität und effizienten Sonnenschutzmaßnahmen erreicht werden kann. Wenn die Entscheidung für eine Klimaanlage im Sonderausstellungsbereich getroffen wird ist eine detaillierte Kühllastberechnung für diesen Bereich erforderlich.

Vorteil einer zentralen Klimaanlage gegenüber dezentralen Klimageräten:

- Zentrale Luftaufbereitung (Außenluftansaugung, Fortluft, Heiz-/Kühlregister, Be-/Entfeuchtung)
- Erheblich kostengünstiger

Nachteile:

- Zuluft- und Abluftkanäle zur Luftverteilung in einzelne Räume notwendig
- Schwer dezentral nachregelbar für einzelne Bereiche

	Szenario 1	Szenario 2
Ausstellungsfläche [m ²]	1.530	1.530
Luftwechsel [h ⁻¹]	1	4
Luftvolumenstrom [m ³ /h]	7.500	30.000
Besucheranzahl (Frischluft: 30 m ³ /Besucher)	250	1.000
Max. Temperaturdifferenz Einblastemperatur zu Raumlufttemperatur [K] (16°C zu 26°C)	10	10
Max. abführbare spezifische Kühllast über Kli- maanlage [W/m ²]	16	65
Max. erforderliche Kältemaschinenleistung [kW] (Außenluft: 32°C/40% r.F; Zuluft: 16°C/75% r.F)	63	250
Investitionskosten [€]	90.000	360.000

Tabelle 3: Richtwerte zu Kosten von zentralen Klimaanlagen

Für die Grobkostenschätzung wurden Investitionskosten von € 12 /m³/h angesetzt, was den aktuellen Ergebnissen von Anlagensimulationen mit Kostenhinterlegung von zentralen Klimaanlagen mit Kompressionskältemaschinen entspricht⁸.

⁸ EU-Studie ROCOCO, Reduction of Costs of Solar Cooling Systems, Wien, 06/2008

3.3.2 Dezentrale Klimageräte

Auch dezentrale Klimageräte kommen im Museumsbereich immer mehr zum Einsatz. Hier wurde untersucht wie eine Luftkonditionierung über dezentrale Klimageräte für den Sonderausstellungsbereich bewerkstelligt werden kann.

Tabelle 4 zeigt die gleichen beiden Szenarien wie in 3.3.1, wobei auch hier die technischen Daten, die erforderliche Anzahl von Klimageräten für jedes Szenario und die daraus resultierenden Kosten dargestellt sind. Für die Grobkostenschätzung wurden Investitionskosten von € 8.500 pro Klimagerät angesetzt⁹, ein Klimagerät liefert einen Volumenstrom von ca. 200 m³/h.

	Szenario 1	Szenario 2
Ausstellungsfläche [m ²]	1.530	1.530
Luftwechsel [h ⁻¹]	1	4
Luftvolumenstrom [m ³ /h]	7.500	30.000
Anzahl dezentraler Klimageräte	38	150
Besucheranzahl (Frischluft: 30 m ³ /Besucher)	250	1.000
Max. Temperaturdifferenz Einblastemperatur zu Raumlufttemperatur [K] (16°C zu 26°C)	10	10
Max. abführbare spezifische Kühllast über Kli- maanlage [W/m ²]	16	65
Max. erforderliche Kältemaschinenleistung [kW] (Außenluft: 32°C/40% r.F; Zuluft: 16°C/75% r.F)	63	250
Investitionskosten [€]	323.000	1.275.000

Tabelle 4: Richtwerte zu Kosten von dezentralen Klimageräten

Vorteil dezentraler Klimageräte gegenüber einer zentralen Klimaanlage:

- Dezentral regelbar
- Zuluft- und Abluftkanäle zur Luftverteilung in einzelne Räume nicht erforderlich

Nachteile:

- Kaltwasser und Heizungswasseranschlüsse zu jedem Fenster erforderlich
- Wanddurchbrüche zur Frischluftansaugung nach außen an den jeweiligen Fenstern
- Höherer Wartungsaufwand
- Erheblich teurer als zentrale Klimaanlage

⁹ KTG Klimatechnik GmbH, modulare Klimageräte Typ QVM für Museen

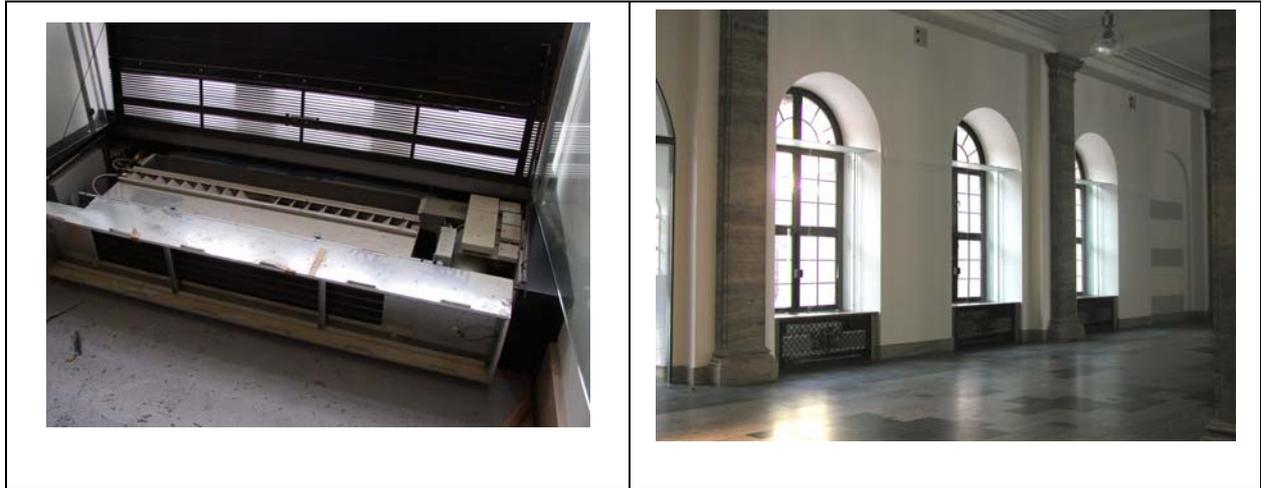


Abbildung 8: Beispiel von dezentralen Klimageräten im Zeughaus Berlin

3.4 Festsaal

Der Festsaal im Technischen Museum Wien weist sommerliche Überwärmung auf, sowie nicht ausreichende Frischluftversorgung für die Besucher von Veranstaltungen auf. Dieser Umstand ist schon lange bekannt und wurde bereits im Jahr 2000 anhand einer Studie des Technischen Büro Käferhaus GmbH detailliert untersucht und Maßnahmen dagegen vorgeschlagen¹⁰.

Folgende Maßnahmen sind hier nochmals angeführt:

- Verlegung der Zuluft von Deckenauslässen in Bodenquelluftauslässe
- Dezentrale Luftbefeuchtung für Orgelbereich
- Änderung der derzeitigen Außenluftansaugung

Da es sich hier um rein Anlagenbezogenen Adaptierungsarbeiten handelt, sollte eine Kostenschätzung für diese Umbaumaßnahmen direkt von einer Ausführendem Unternehmen oder einem Technischen Büro eingeholt werden.

¹⁰ J. Käferhaus, Technisches Museum Wien, Bestandserhebung der bauphysikalischen, elektrischen und installationstechnischen Anlagen für eine Optimierungsstrategie, Wien, 10/2000

4 Maßnahmenkatalog

4.1 Maßnahmenübersicht (grün)

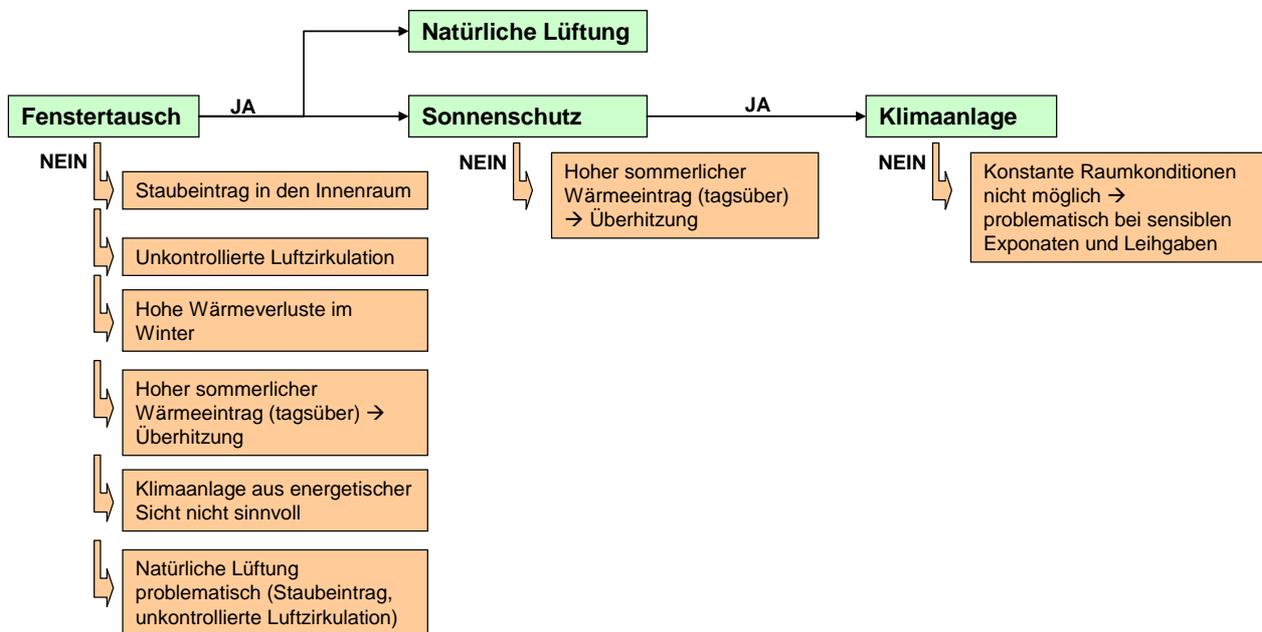


Abbildung 9: Übersicht über die empfohlenen Maßnahmen mit energetischen Abhängigkeiten zueinander

4.2 Optimierung Gebäudehülle (siehe Kapitel 3.1)

- Fenstertausch: Größte Auswirkungen auf eine energetische Sanierung und Schutz der ausgestellten Exponate des Technischen Museums
- Sonnenschutz: Maßnahme gegen die derzeit auftretende Überhitzung im Sommer

4.3 Natürliche Lüftung (siehe Kapitel 3.2)

- Konzepterstellung mittels Strömungssimulation
 - Definition Außenluftansaugung
 - Dimensionen und Anzahl von Klappen in den Kuppeln

4.4 Sonderausstellungsbereich (siehe Kapitel 3.3)

- Fenstertausch
- Bauliche Trennung des Sonderausstellungsbereiches vom restlichen Ausstellungsbereich. Das heißt, dass die derzeit vorhandenen Öffnungen zwischen Sonderausstellungsbereich und dem restlichen Ausstellungsbereich verschlossen werden.
- Einbau einer Klimaanlage
 - Zentrale Klimaanlage
 - Dezentrale Klimaanlage

4.5 Festsaal (siehe Kapitel 3.4)

- Verlegung der Zuluft von Deckenauslässen in Bodenquelluftauslässe
- Dezentrale Luftbefeuchtung für Orgelbereich
- Änderung der derzeitigen Außenluftansaugung

5 Literatur

- /1/ Ertl, Ulla, 'Energetisch, strukturelle Altbaumodernisierung am Beispiel eines Um- und Ausbaus eines gründerzeitlichen Institutsgebäudes der Universität für Bodenkultur', Diplomarbeit an der BOKU Wien, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Wien September 2004
- /2/ J. Käferhaus, Technisches Museum Wien, Bestandserhebung der bauphysikalischen, elektrischen und installationstechnischen Anlagen für eine Optimierungsstrategie, Wien, 10/2000
- /3/ EU-Studie ROCOCO, Reduction of Costs of Solar Cooling Systems, Wien, 06/2008
- /4/ BKI Baukosten 2004 Teil 2: Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente; incl. MwSt.; Korrekturfaktor 1,1
- /5/ Artikel HLH, Dezentrale Klimatisierung mit Be- und Entfeuchtung im Deutschen Historischen Museum, Berlin, Oktober 2004
- /6/ Artikel architektur+sonneschutz, Tageslichtmuseum fordert ausgefeilte Sonnenschutztechnik, Zeughaus Berlin, September 2004

ANHANG A

»Energieeffizienz- und Raumlufthkomfortoptimierung / Technisches Museum Wien«

Protokoll

Phase 1 / Workshop 1

Date: 06.05.2008, 09:00 – 13:00

Author: Tim Selke, Andreas Frohner

Venue: Technisches Museum / VIP-Raum

Teilnehmer:

Technisches Museum Wien

Projektleitung:	Laurenz Seebauer
Restaurierung:	Valentina Ljubic (Leiterin), Bettina Sanchez, Friedrich Weixelbaumer
Haustechnik:	Michael Grim (Leiter), Peter Krieger (Stellvertreter), Peter Defeld, (Elektriker), Franz Cech (Ausstellungstechniker)
Goran Pavloski	Klaus Walland
Veranstaltungen und Events:	
Aufsicht:	Karl Thaler

Arsenal

Renate Teppner
Andreas Frohner
Tim Selke

Verteiler: Alle Workshopteilnehmer

Ziel des Workshops:

- Eindeutige Beschreibung der derzeit auf tretenden Mängel/ Probleme
- Aufzeigen/ Darstellung hauseigener Ideen zur Verbesserung der Ist-Situation
- Definition der gewünschten Ziele (Energiekennzahlen; Raumlufthkomfort ...)
- Definition einer Prioritätenliste auftretender Mängel/ Probleme
- Erste Ideen zu einem Zeitplan

Ziel des Projektes aus Sicht des Auftraggebers

- Reduktion von Energiekosten
- Optimierung der Klimaanlage im Archiv (Messungen hausintern und Fa. Hest) in Abstimmung mit der Klimaanlage des Schausammlungsbereichs Musik
- Abklären der Situation der Abluft aus der Musik-Sammlung

Planungsgrundsätze aus Sicht des Auftraggebers

- Maßnahmen ohne bzw. mit minimalem Energieaufwand
- Abgestimmtes Gesamtkonzept im ganzen Haus

Umfassende Darstellung von Maßnahmen mit unterschiedlichem Investitionsaufwand als umfassende Entscheidungsgrundlage für die Geschäftsführung

1. Agenda - Workshop

- Kurze Vorstellung aller Teilnehmer und deren Funktionen
- Kurzbericht zum Teilprojekt Beleuchtungserneuerung: Stand der Dinge
- Sammeln von Problem- und Schwachstellen des Hauses (in Bezug auf Überhitzung, Lüftung, Staubeintrag, Abschattung)
- Lange ausführliche Diskussion / Sammeln der Probleme
- Definition der Prioritäten
- Zusammenfassung

2. Workshop

2.1. Vorstellung des Grundkonzepts für die Lichtplanung in der Schausammlung (Laurenz Seebauer)

Vorstellung des Grundkonzepts für die Lichtplanung in der Schausammlung:

- als Grundbeleuchtung soll indirektes Licht dienen. Es sollen dimmbare Leuchtstoffröhren in den Stromschienen für die Grundbeleuchtung zum Einsatz kommen.
- Strahler sollen nur für die Objektbeleuchtung verwendet werden.
- Die Energiesparlampen in den Kreuzungspunkten sollen mit Blendschutz versehen werden.
- In den Galerien soll tageslicht-ähnliches Licht zum Einsatz kommen, um einen sanfteren Übergang zwischen natürlicher und künstlicher Beleuchtung zu erzielen.
- Durch die zahlreichen Tageslichtöffnungen (Fenster) treten starke Kontraste bzw. Blendwirkung auf. Diese könnte durch Abschattung bzw. Folien vermindert werden.
- Die Strahler für die Objektbeleuchtung sollen auf wenige Stromschienen verteilt werden. In den Glaskuppeln werden die Stromschienen an den Rippen der Kuppel angebracht.

Ziele des Lichtkonzepts:

- 70 % Energieeinsparung
- ruhigeres Deckenbild
- Bessere Objektpräsentation
- Akzentuierung des Gebäudes

2.2. Sammeln von Problem- und Schwachstellen des Hauses (in Bezug auf Überhitzung, Lüftung, Staubeintrag, Abschattung)

Folgende Klima-Probleme und Planungsziele sind im Vorfeld arsenal research kommuniziert worden:

- Problemfelder Überhitzung und Lüftung
- Wärmeeintrag durch die Fensterflächen süd-, west- und ostseitig
- Wärmeeintrag durch interne Lasten (Beleuchtung)
- Wärmeeintrag und Stauwärme in den Kuppeln (Messungen im Zeitraum 11-2006-11-2007 vorhanden)
- Wärmeeintrag im Eingangsbereich (Glaskobel)
- Fehlendes Lüftungskonzept und unkontrollierte Lüftung durch die Aufsicht

- Staubeintrag in der Schausammlung
- Belüftung des Festsaals
- Ausbreitung der Cafehaus-Gerüche in den Eingangsbereich

Reduktion von Energiekosten

- Optimierung der Klimaanlage im Archiv (Messungen hausintern und Fa. Hest) in Abstimmung mit der Klimaanlage des Schausammlungsbereichs Musik
- Abklären der Situation der Abluft aus der Musik-Sammlung

Anmerkungen während der Diskussionsrunde bezüglich Energieverbrauch:

- pro Jahr werden ca. 2 GWh Strom verbraucht, davon entfallen ca. 1/3 bis die Hälfte auf die Beleuchtung
- Fernwärme-Anschlussleistung: 2 GWh / Jahr
- Derzeit gibt es keine effiziente Regelung der Heizung, die Temperaturregelung erfolgt mittels Außenthermostat. Es gibt im Wesentlichen 3 senkrechte Versorgungsstränge (Nord-/Süd-/Mittel-Bereich), welche alle Ebenen mit derselben Vorlauftemperatur versorgen.
- Es existiert keine Kopplung zwischen Heizung und Luftfeuchtigkeitsregelung. Im Winter erreicht die Luftfeuchtigkeit teilweise Werte von 28%.
- Im Winter ist eine Belüftung über die Rauchklappen in den Glaskuppeln nicht möglich, da sonst ein zu hoher Luftaustausch (ca. 100 m³/h oder 5-fach Luftwechsel) mit entsprechender Sogwirkung auftritt. Die Temperaturen am Abend erreichen im Winter 24-25°C.
- Die Fläche der Rauchklappen beträgt ca. 20 m², die Gesamtfläche einer Glaskuppel beträgt ca. 600 m². Bei Wind oder Niederschlag müssen die Klappen geschlossen werden.
- Im Sommer erfolgt die Lüftung über das Öffnen der Fenster, was zu hoher Staubbelastung führt.

Geschichte des Hauses:

- In ihrer ursprünglichen Form waren die Ebenen 3 und 4 geschlossene Räume ohne Verbindung zu den Glaskuppeln, wodurch es in diesen Räumen keine Überhitzungsprobleme gab. Das Gebäude in seiner jetzigen Form kann als ein großer Raum betrachtet werden, in dem Luftaustausch stattfindet.
- Ursprünglich verfügte das Gebäude über 8 Lüftungsschächte, welche jedoch heute geschlossen sind. Momentan erfolgt die Frischluftzufuhr lediglich über Fenster und Türen.
- Für ein funktionierendes Klimatisierungskonzept wäre eine kontrollierte (regelbare) Zuluftführung inklusive Konditionierung notwendig.

Fenster und Westfassade:

- Aufgrund des schlechten Zustands der Fenster insbesondere der Westfassade (Wetterseite des Haupthauses) (undicht -> Staub, Niederschlag,...) wird ein Tausch der Fenster schon lange favorisiert. Aufgrund von Bestimmungen zum Denkmalschutz sind spezielle Lösungen zu entwickeln.

Neue Eingangshalle aus Stahl-Glas-Konstruktion:

- Der Glaskobel im Eingangsbereich ist mit **2-fach Verglasung** ausgestattet. Da die Eingangstüren im Winter praktisch permanent offen sind (Keine große Eingangsschleuse), sind die Radiatoren zu leistungsschwach, um die Vorhalle behaglich zu beheizen. Um die Überhitzung im Sommer zu verringern, wurde das Glasdach mit reflektierender Folie beklebt und zusätzliche

Ventilatoren erwirken eine Querlüftung.

Linzer Halle

- Die „Linzer Halle“ ist über ein großes Tor mit dem Museum verbunden, welches zur An- und Ablieferung von Ausstellungsstücken dient. Dieses Tor wird jedoch auch als Personaleingang genutzt, weshalb das Tor fast ständig geöffnet ist. Eine Entkopplung zwischen Tor und Personalein- und -ausgang wird durch Anregung aus dem eigenen Hause als machbar und sinnvoll eingeschätzt.

Staubbelastung

- Größte Staubbelastung tritt in Ebene 2 auf, wobei die Konzentration im gesamten Gebäude hoch ist. Ursache für die Staubbelastung wird derzeit vorrangig durch die existierende Luftführung gesehen.
- Um den Wärmeeintrag durch die Fenster zu verringern, wäre eine außen liegende Verschattung notwendig. Diese ist jedoch aufgrund des Denkmalschutzes problematisch.

Drei Glaskuppeln

- Zwecks Tageslichtsteuerung und Überhitzungsschutz im Sommer kommen im Zwischenraum der doppelschaligen Glaskuppeln innen liegende Verschattungselemente (Rollos) zum Einsatz. Die mittlere Glaskuppel kann auf diese Weise 100%ig zugefahren werden und die beiden anderen Glaskuppeln (Ost und West) können mit einer abgeschätzten Wirksamkeit von 40 % abschatten. Anmerkung: Es existieren keine Vergleichswerte, um die Wirksamkeit der Doppelverglasung in den Glaskuppeln zu überprüfen.
- Seit das TM Wien über Fernwärme beheizt wird, besteht die Möglichkeit einer Nachtabenkung
- In der Vergangenheit wurde über Photovoltaik-Elemente nachgedacht, diese scheiterten jedoch an der Finanzierung.
- Im Hinblick auf eine günstige künstliche Beleuchtungsinszenierung der Exponate wirkt sich eine permanente Verdunkelung der Fensterflächen (Tag und Nacht) positiv aus und reduziert den Überhitzungseffekt aufgrund der solaren Einträge.

Belüftung des Festsaals

- Ansaugöffnung der Frischluftzufuhr des Belüftungsanlage liegt oberhalb Blechdach welches durch Sonneneinstrahlung stark erwärmt wird und eine lokale Erwärmung der Außenluft erwirkt.
- Die Luftverteilsysteme im Festsaal wirken ungünstig. Die Luftabsaugung erfolgt im Deckenbereich in der Nähe der Lufteinlässe, was eine gleichmäßige Be- und Entlüftung des Raumes insbesondere im Wärmefall verhindert (Kurzschlussmöglichkeit). Weiters ist ein Luftbefeuchter vorhanden.
- Bei niedrigen Außentemperaturen ist eine Belüftung des Saals während der Belegung nicht möglich, zu tiefe Eintrittstemperaturen.
- Insgesamt ist wird die existierende Luftführung durch das Technische Team des Hauses als nicht sinnvoll bewertet. Eine ausreichende Klimatisierung des Raumes während einer gut besuchten Veranstaltung ist nicht möglich (nur Luftbefeuchtung).
-

2.3. Definition der Prioritäten

arsenal research hat in einer nachfolgenden Runde versucht den Handlungsbedarf für die Untersuchungen herauszuarbeiten. Dazu wurden die Teilnehmer zu den Prioritäten der diskutierten Problemfelder befragt. Bis auf wenige Ausnahmen erscheinen alle Problemfelder eine hohe Dringlichkeit zur Bearbeitung aufzuweisen. Nachfolgende Tabelle spiegelt die Ergebnisse der Befragungsrunde wieder.

	Priorität			
	Keine	Niedrige	Mittlere	Hohe
Generelle Analysen				
Generelle Wärme- Energiebilanz für das Haupthaus				
Wärmeeintrag durch interne Lasten (Beleuchtung)				
Optimiertes Lüftungskonzept (Bisher unkontrollierte Lüftung durch die Aufsicht)				
Wärmeeintrag und Stauwärme in den Kuppeln (Messungen im Zeitraum 11-2006-11-2007 vorhanden)				
Wärmeeintrag/ Klima im Eingangsbereich (Glaskobel)				
Detailanalysen				
Staubeintrag in der Schausammlung				
Belüftung des Festsaals				
Ausbreitung der Cafehaus-Gerüche in den Eingangsbereich				
Sommerliche Überwärmung in den Büros				
Linzer Halle				
Sanierung Westfassade				

2.4. Zusammenfassung erster Ergebnisse:

- Die Ursachen für die Überhitzung im Bereich der Kuppeln müssen abgeschätzt werden (Überschlagsrechnung). (Sonneneinstrahlung, Beleuchtung, Besucher, innere Lasten, ...)
- Probleme im Eingangsbereich: Zugluft bei Verwendung der Ventilatoren, Wärmeeinbringung durch Glaskonstruktion in das ges. Gebäude
- Fenster: Problem der Staubeinbringung, Berechnung der Energieersparnis durch Erneuerung der Fenster
- Linzer Halle: große Türen für Anlieferung werden als Personaleingang genutzt
- Evtl. Thermografie der Fassade

3. ACTION ITEMS

Im Hinblick auf die nächsten Abschnitte lassen sich folgende Aktivitäten formulieren:

Datenerhebung

- AI 1. Ein zusätzlicher Vororttermin im Technischen Museum wird vereinbart. Dies soll arsenal research ein vertiefendes Verständnis der Ist-Situation vermitteln
- AI 2. Das Technische Museum stellt Verbrauchszahlen aus den vergangenen Jahren zusammen und übersendet diese arsenal research.
- AI 3. Weitere Pläne zur Architektur und zur bestehenden Haustechnik sollten arsenal research zur Verfügung gestellt werden. Dies wird mündlich abgeklärt.

Methoden/ Arbeitsschritte

- AI 4. **arsenal** entwickelt zur Bewertung der gesamten thermischen Energiebilanzierung des Technischen Museums ein vereinfachtes Gebäudemodell. Dies ist Basis für die weiteren Analysen, um die Größenordnung der jeweiligen Einflussparameter abschätzen zu können.
- AI 5. Auf Basis eines adaptierten Gebäudemodells werden Detailanalysen durchgeführt
 - a. Thermischer Einfluss der Westfassade
 - b. Infiltration über Undichtigkeiten in der Fassade
- AI 6. Für Detailanalysen zum thermischen Zustand der Fassade oder von Fassadenabschnitten empfiehlt arsenal research den Einsatz von Thermografie
- AI 7. Detailanalysen von Strömungsrelevanten Fragestellungen können generell mit der Methode der numerische Strömungssimulation angegangen werden, sind aber im derzeitigen Anbot nicht enthalten. Nach derzeitigem Kenntnisstand empfiehlt arsenal research die Anwendung dieser aufwendigen und kostenintensiven Methode nicht.
- AI 8. Abstimmung arsenal research mit dem Auftraggeber über Vorgehensweise, Schwerpunkte und Plan

ANHANG B

BILDDOKUMENTATION des Temperatur-Monitoring

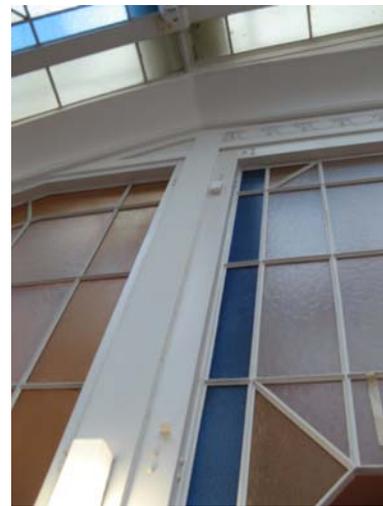
Große Lichtkuppel

Ausstellungsraum unter Lichtkuppel

1 Große Kuppel am Hallenkran



2 Große Kuppel an der Südwand



Zwischenraum der Lichtkuppel

3 Ostseite (links)



Westseite (rechts)



5 Mitte (direkte Strahlung)



Kleine Ostlichtkuppel
Ausstellungsraum unter Lichtkuppel
6 Im Innenraum an Stahlkonstruktion



Im Zwischenraum der Lichtkuppel
7 Kleine Ostkuppel (verschattet)



8 Kleine Ostkuppel (auf Glas)

