Museum der Bayerischen Geschichte

Regensburg, Deutschland

Dipl.-Ing. Raphaël Vibert, Herz & Lang GmbH

January 2025

Museum der Bayerischen Geschichte

Eckdaten

- **Auftraggeber**: Öffentliche Bauverwaltung Regensburg
- **Architekt**: Wörner Traxler Richter Planungsgesellschaft mbH
- Passivhaus-Beratung und dynamische Simulation: Herz & Lang GmbH
- **Nutzung**: Öffentliches Museum mit Dauerausstellungen, Sonderausstellungen, Konferenzen und Veranstaltungen (Eröffnung 2018)
- **Kapazität**: Maximal 1.620 Personen gleichzeitig; etwa 300.000 Besucher jährlich
- Gesamtnutzfläche: 9.950 m^2
- Beheizte Fläche für PHPP-Berechnungen (TFA): 7.760 m^2
- **Gebäudestandard**: Zertifiziertes Passivhaus gemäß den Kriterien des Passivhaus-Instituts Darmstadt
- **Heizbedarf**: 5 kWh/(m^2a) (basierend auf TFA; Passivhaus-Kriterium: ≤ 15 kWh/(m^2a))
- **Kühlbedarf**: 14 kWh/(m^2a) (basierend auf TFA; Passivhaus-Kriterium: ≤ 15 kWh/(m^2a))
- **Innenklimaanforderungen**: Sehr hohe Anforderungen, um optimale Bedingungen für die Konservierung der Exponate und besten Komfort für Besucher sicherzustellen.

Abbildung 1 und 2:

Rendering: Ostansicht (links) – Westansicht (rechts)

Quelle: Wörner Traxler Richter Planungsgesellschaft mbH

Konzept – Gebäudehülle

- **Bodenplatten**: 20 cm XPS-Dämmung unter der Betonplatte + 3 cm EPS-Dämmung unter dem Estrich
- **Außenwände mit Bodenkontakt**: Stahlbeton mit 20 cm äußerer XPS-Dämmung
- **Außenwände über dem Boden**: Stahlbeton mit 26 cm äußerer Mineralwolldämmung, thermisch optimierten Dübeln und einer thermisch optimierten Tragkonstruktion für die hinterlüftete Fassade
- **Außenüberhang**: Stahlbetondecke mit 26 cm äußerer Mineralwolldämmung, thermisch optimierten Dübeln + 3 cm EPS-Dämmung unter dem Estrich
- **Dach**: Metalltragwerk mit 36 cm Mineralwolldämmung und thermisch optimierter Befestigung der Metallbedachung
- **Fenster**: Isolierter Rahmen mit Dreifachverglasung und Sonnenschutzbeschichtung, abhängig von der Ausrichtung
- **Verglaste Dachflächen**: Thermisch getrenntes Metallrahmenprofil mit Sonnenschutz Dreifachverglasung

Konzept – Heizung, Lüftung und Klimatisierung (HVAC)

Die Umsetzung des Passivhaus-Standards ist besonders geeignet für Gebäude mit speziellen Anforderungen an das Innenraumklima, wie Schwimmbäder oder Gebäude mit hoher Belegung. Neben einer Verbesserung des Komforts und einer Reduzierung von Feuchtigkeitsproblemen macht das Passivhaus-Konzept das Gebäude so unabhängig wie möglich von äußeren Wetterbedingungen. Das HVAC-System konzentriert sich daher hauptsächlich auf Belegungsparameter, ohne zusätzliche Lasten von außen bewältigen zu müssen.

- **Wärme- und Kälteerzeugung**: Das Konzept basiert auf mehreren Wärmepumpen, die an den Hauptabwasserkanal der Stadt Regensburg angeschlossen sind. Dieser bietet das ganze Jahr über sehr günstige und konstante Temperaturen (noch stabiler als die nahe fließende Donau).
- **Mechanische Lüftung**: Das Gebäude verfügt über 8 Lüftungsanlagen, die mit einer zentralen Wärmerückgewinnungseinheit verbunden sind. Diese erreicht eine effektive Wärmerückgewinnungseffizienz von ≥ 75 %. Der Wärmetauscher ist mit einer Enthalpie regulierten Bypass ausgestattet, der je nach Bedarf der Lüftungseinheiten (Heizung, Kühlung, Entfeuchtung, Befeuchtung) die energie- und feuchtigkeitsoptimierte Luft liefert.
- **Bodenheizung und -kühlung**: Diese Systeme decken die Grundlasten des Gebäudes, während das zentrale Lüftungssystem die Spitzenlasten für Heizung und Kühlung sowie die Anforderungen an Entfeuchtung und Befeuchtung übernimmt.

Konzept – Heizung, Lüftung und Klimatisierung (HVAC)

Die Umsetzung des Passivhaus-Standards ist besonders geeignet für Gebäude mit speziellen Anforderungen an das Innenraumklima, wie Schwimmbäder oder Gebäude mit hoher Belegung. Neben einer Verbesserung des Komforts und einer Reduzierung von Feuchtigkeitsproblemen macht das Passivhaus-Konzept das Gebäude so unabhängig wie möglich von äußeren Wetterbedingungen. Das HVAC-System konzentriert sich daher hauptsächlich auf Belegungsparameter, ohne zusätzliche Lasten von außen bewältigen zu müssen.

- **Wärme- und Kälteerzeugung**: Das Konzept basiert auf mehreren Wärmepumpen, die an den Hauptabwasserkanal der Stadt Regensburg angeschlossen sind. Dieser bietet das ganze Jahr über sehr günstige und konstante Temperaturen (noch stabiler als die nahe fließende Donau).
- **Mechanische Lüftung**: Das Gebäude verfügt über 8 Lüftungsanlagen, die mit einer zentralen Wärmerückgewinnungseinheit verbunden sind. Diese erreicht eine effektive Wärmerückgewinnungseffizienz von ≥ 75 %. Der Wärmetauscher ist mit einer Enthalpie regulierten Bypass ausgestattet, der je nach Bedarf der Lüftungseinheiten (Heizung, Kühlung, Entfeuchtung, Befeuchtung) die energie- und feuchtigkeitsoptimierte Luft liefert.
- **Bodenheizung und -kühlung**: Diese Systeme decken die Grundlasten des Gebäudes, während das zentrale Lüftungssystem die Spitzenlasten für Heizung und Kühlung sowie die Anforderungen an Entfeuchtung und Befeuchtung übernimmt.

Die schnelle Reaktion der Lüftungssysteme, kombiniert mit mehreren Raumfühlern, die über ein zentrales Bus-System gesteuert und gewichtet werden, ermöglicht eine schnelle Anpassung an wechselnde Bedingungen (z. B. Nutzungsspitzen oder Wetteränderungen).

- **Innenklima-Anforderungen**:
  - Lufttemperatur: 19 °C ± 1 K im Winter, 24 °C ± 1 K im Sommer
  - Relative Luftfeuchtigkeit: Ganzjährig 50 % ± 5 % (in einer Höhe von 0 m bis 3 m)
  - Maximale Schwankungsgeschwindigkeit: 1 K/h
- **Energieeffiziente Luftqualität**: Die Einhaltung der hohen Anforderungen an die Luftqualität (CO_2-Konzentration ≤ 1000 ppm) wird durch eine CO_2-basierte Regelung mit Raumfühlern und einem anpassbaren Frischluftanteil (0–100 % Umluftanteil möglich) gewährleistet.

Zusätzliche Gebläsekonvektoren wurden für die Klimatisierung von EDV-Räumen installiert.

Dynamische Gebäudesimulation – Ziele

Die Erfüllung des Passivhaus-Standards wurde mit einer multizonalen PHPP-Berechnung (Passive House Planning Package) untersucht und optimiert.

Für eine genauere Modellierung des Gebäudes im PHPP wurden die Solargewinne und Verschattungssituationen aller verglasten Flächen durch eine Verschattungsanalyse in IESVE ermittelt. Der Hauptgrund für die Durchführung einer dynamischen Gebäudesimulation mit IESVE lag jedoch in der Herausforderung, das ehrgeizige geforderte Innenklima (siehe oben) zu gewährleisten, ohne das HVAC-System überzudimensionieren. Dies war sowohl aus Kostengründen als auch im Hinblick auf begrenzte Platzanforderungen wichtig.

Mit jährlich 300.000 Besuchern, unvermeidbaren Solargewinnen und hohen internen Wärmequellen durch elektrische Geräte und Beleuchtung (trotz energieeffizienter Produkte) war eine präzise Untersuchung erforderlich. Nur eine exakte dynamische Gebäudesimulation konnte diese Aufgabe bewältigen.

Eine grobe Analyse, wie sie von günstigen Softwarelösungen auf dem Markt angeboten wird, ist für diese Anwendung nicht geeignet.

Dynamische Gebäudesimulation – Modell

Die gesamte Gebäudehülle wurde modelliert (Abbildungen 3 und 4), und in den Hauptzonen wurden zusätzliche horizontale und vertikale Unterteilungen definiert (Abbildungen 6 und 7). Auch benachbarte Gebäude wurden selbstverständlich berücksichtigt (Abbildung 3).

Neben der detaillierten Modellierung der Gebäudehülle zeichnet sich dieses Modell insbesondere durch die sehr präzise Modellierung des HVAC-Systems aus (Abbildung 5). Dabei wurden folgende Parameter in das Modell integriert:

- Betriebsparameter des Wärme- und Kälteerzeugungssystems
- Exakte Konstruktions- und Betriebsparameter der verschiedenen Lüftungseinheiten
- Lüftungskanäle und damit verbundene Wärmeübertragungen mit angrenzenden Räumen
- Exakte Position der Zuluft- und Abluftöffnungen
- Exakte Position der Raumfühler
- Gewichtung der von den Raumfühlern gemessenen Parameter im Durchschnittswert, der durch das Bussystem an das Lüftungssystem übermittelt wird
- Betriebs- und Regelungsparameter zusätzlicher Heiz- und Kühlsysteme (z. B. Fußbodenheizung, Gebläsekonvektoren)

Diese präzise Modellierung gewährleistet eine optimale Anpassung des Gebäudes an unterschiedliche Nutzungssituationen und Umgebungsbedingungen.

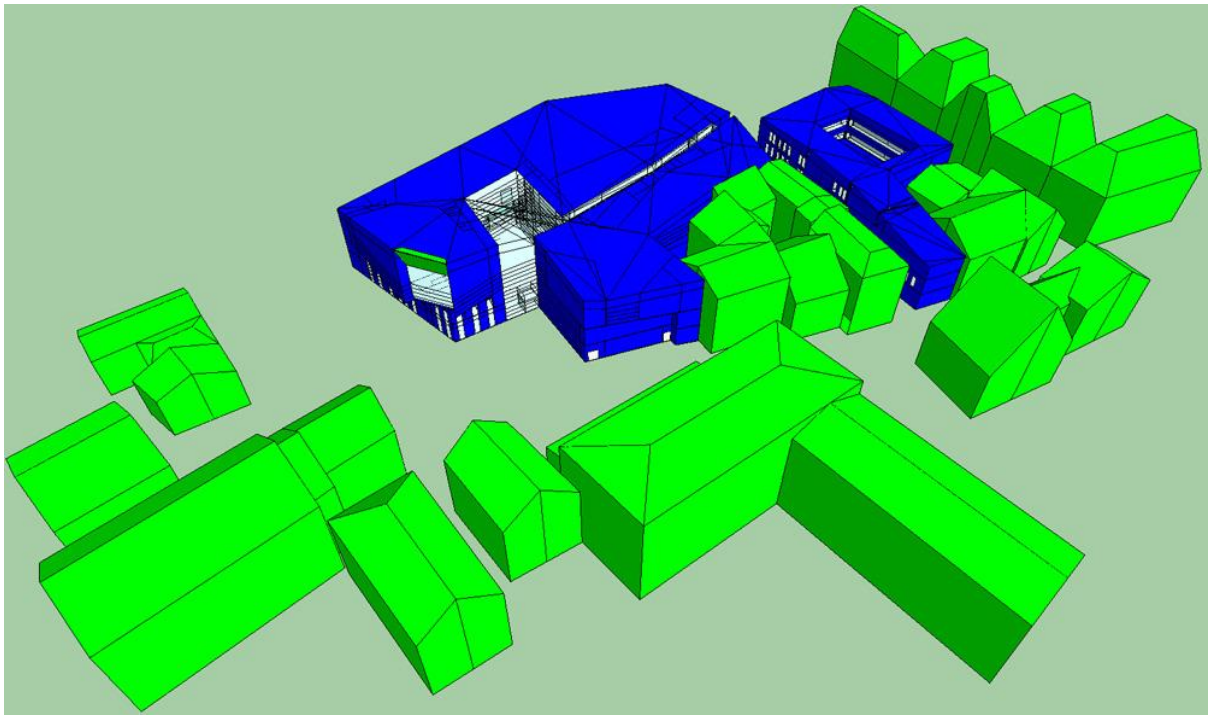

Abbildung 3:

3D-Modell: Museum der Bayerischen Geschichte und benachbarte Gebäude – Südwestansicht

Quelle: Herz & Lang GmbH

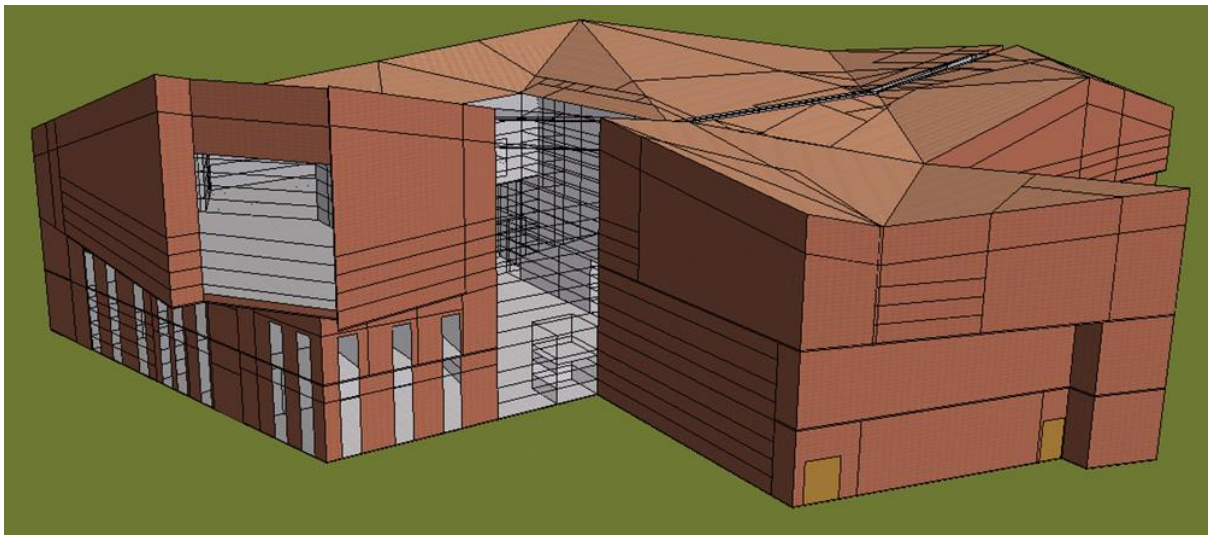

Abbildung 4:

3D-Modell: Museum der Bayerischen Geschichte – Südwestansicht

Quelle: Herz & Lang GmbH

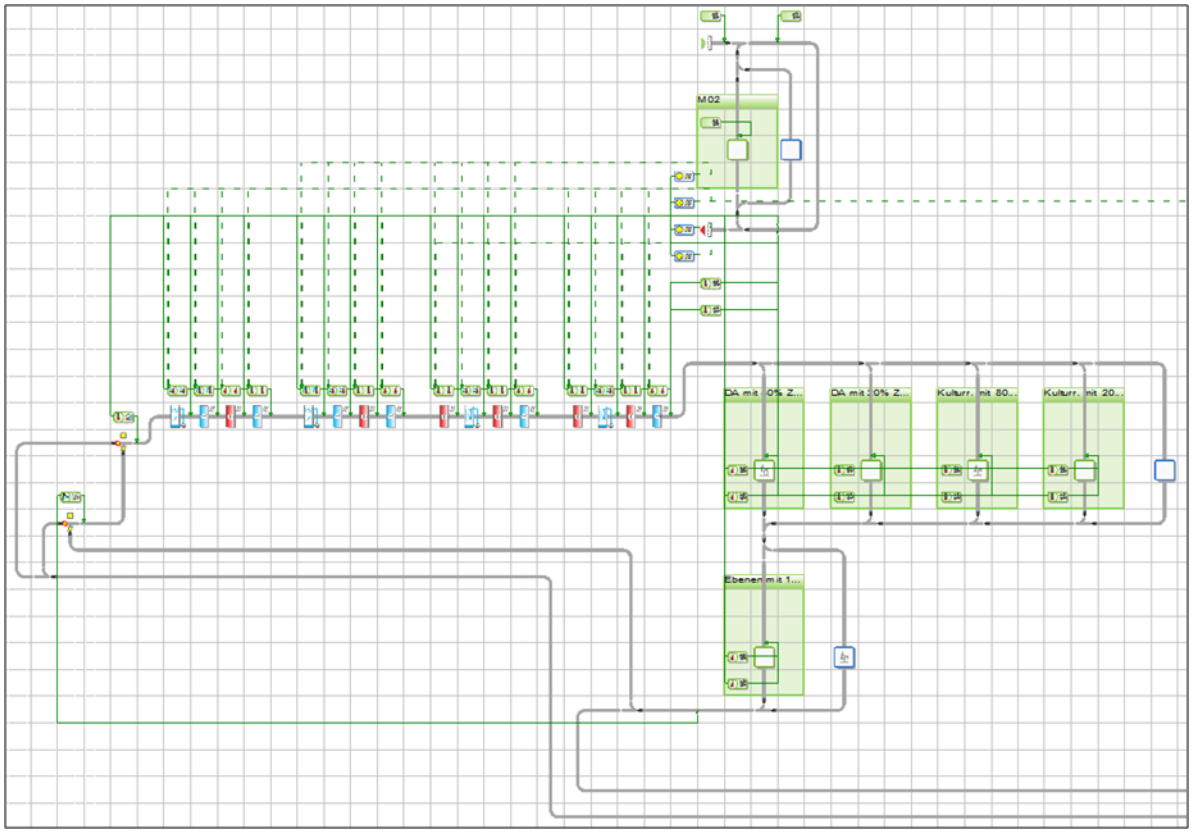

Abbildung 5:

Modellierung: Lüftungseinheit der Dauerausstellung mit CO_2-Regelung, Heiz- und Kühlregistern für Heizung, Kühlung und Entfeuchtung sowie Sprühkammer für Befeuchtung

Quelle: Herz & Lang GmbH

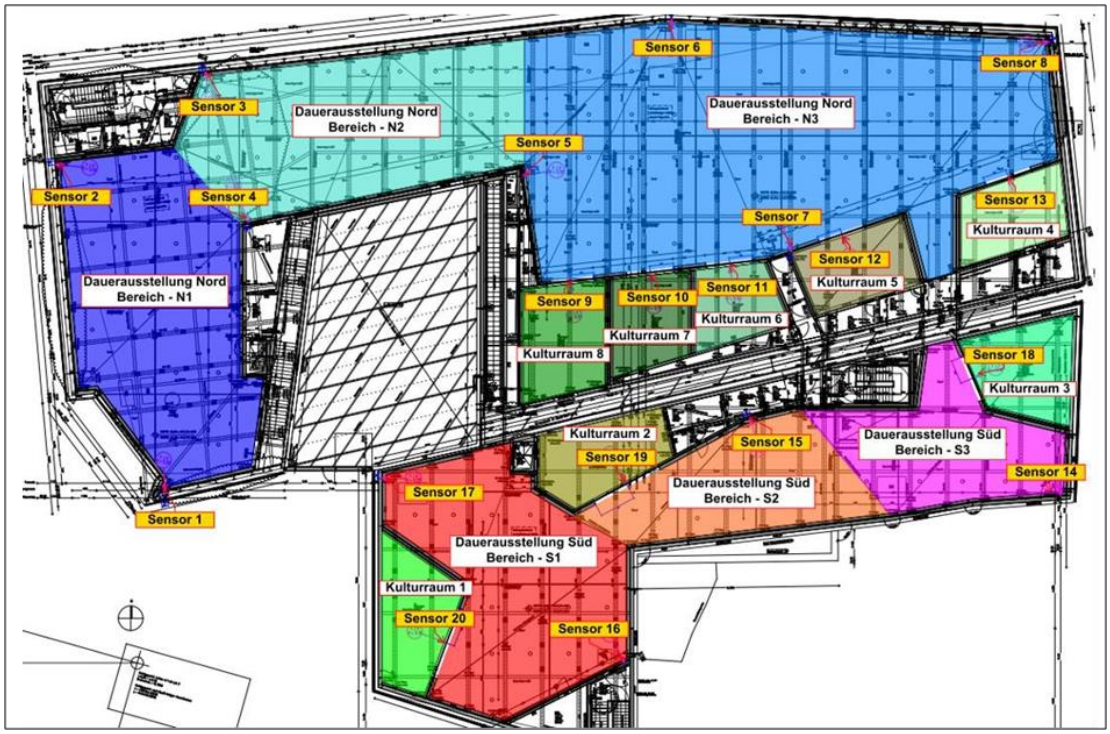

Abbildung 6:

Horizontale Unterteilung: Dauerausstellung und Position der Raumfühler

Quelle: Herz & Lang GmbH

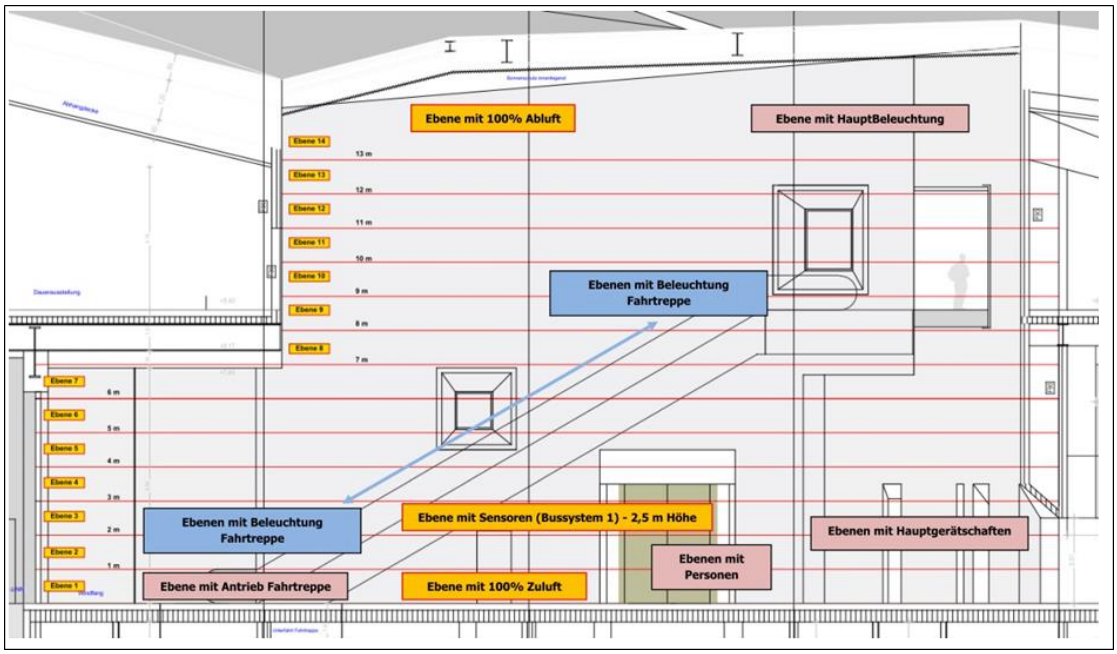

Abbildung 7:

Vertikale Unterteilung: Eingangshalle

Quelle: Herz & Lang GmbH

Dynamische Gebäudesimulation – Ergebnisse

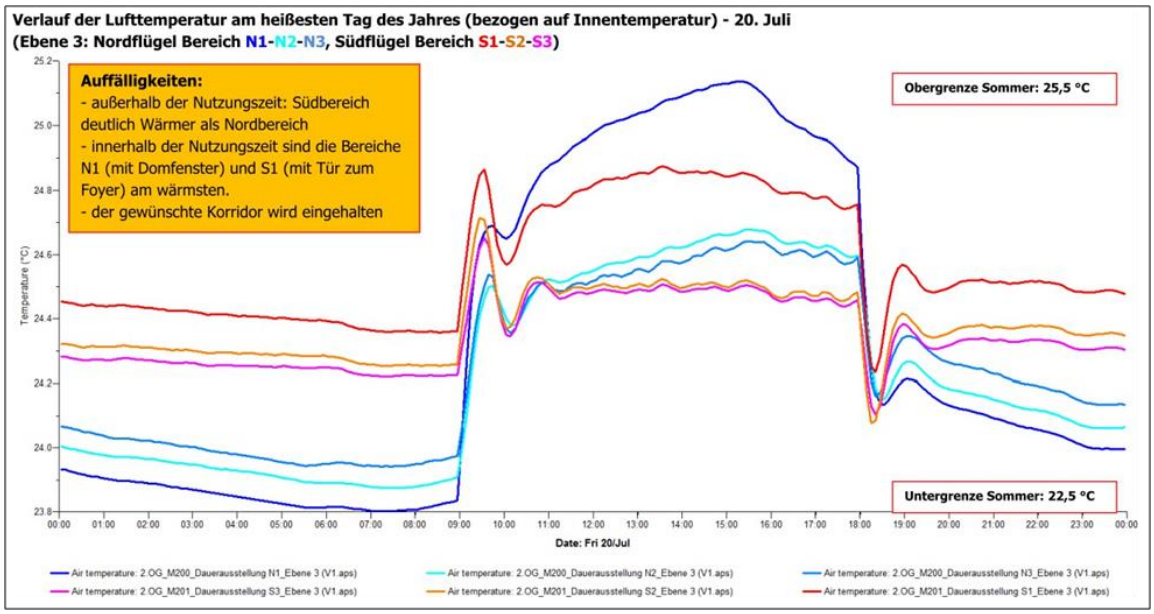

Abbildung 8:

Lufttemperatur: Dauerausstellung am heißesten Tag des Jahres

Quelle: Herz & Lang GmbH

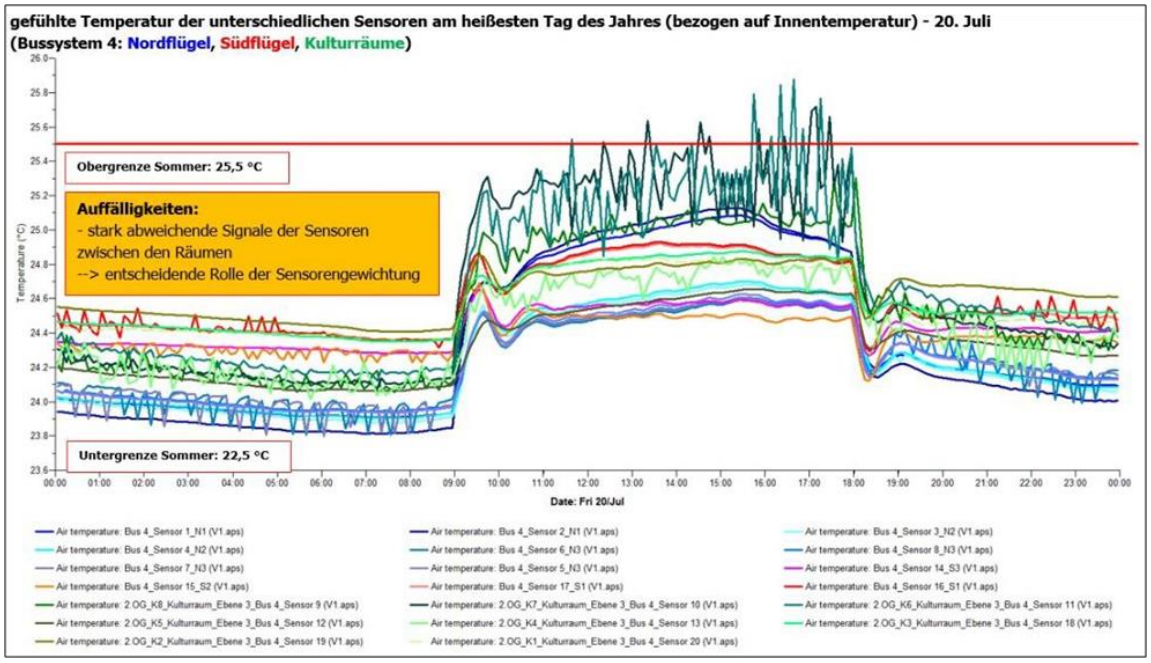

Abbildung 9:

Lufttemperaturen: Gemessen durch die Raumfühler in der Dauerausstellung

Quelle: Herz & Lang GmbH

Die präzise horizontale und vertikale Unterteilung der Dauerausstellung ermöglicht eine dynamische Identifikation von Temperaturunterschieden innerhalb des Raums (siehe Abbildung 8). Die Klimatisierung durch das Lüftungssystem wird anhand der Durchschnittswerte gesteuert, die von den Raumfühlern gemessen werden (siehe Abbildung 9).

Es wurden mehrere Gewichtungsvariationen der Sensoren für die Ermittlung der Durchschnittswerte untersucht, um eine optimale Reaktion des Gebäudes auf jede Situation zu gewährleisten. Dadurch kann Zeit während der Einregelungs- und Inbetriebnahmephase eingespart werden, die möglichst kurz gehalten werden muss.

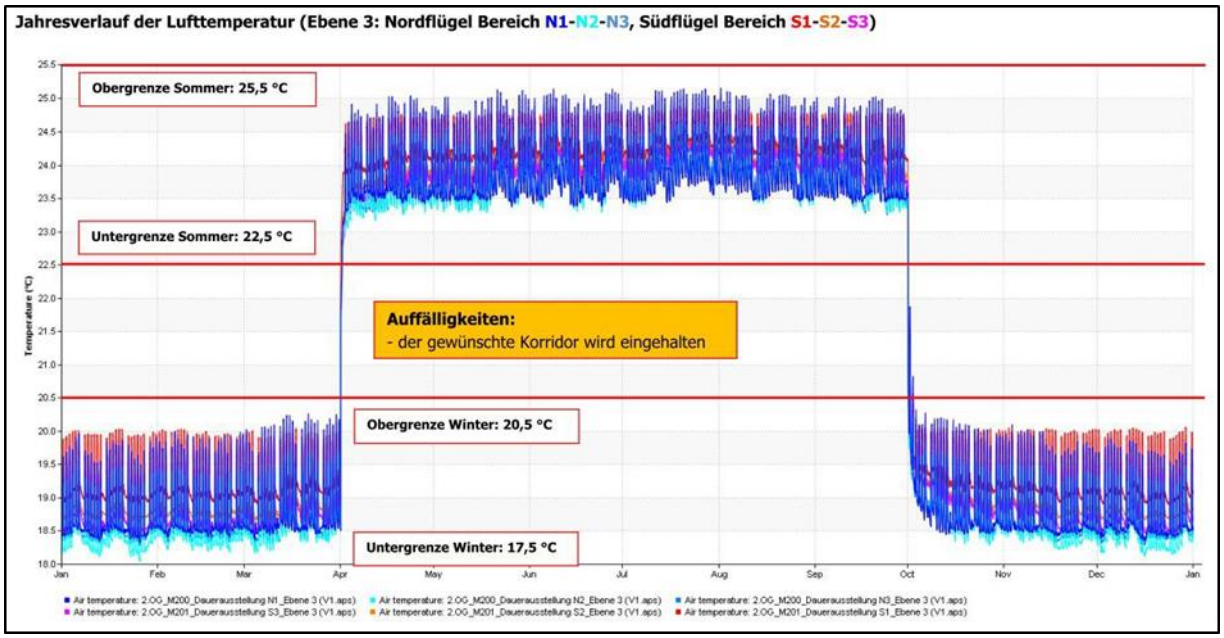

Abbildung 10:

Lufttemperatur: Verlauf über das Jahr in der Dauerausstellung

Quelle: Herz & Lang GmbH

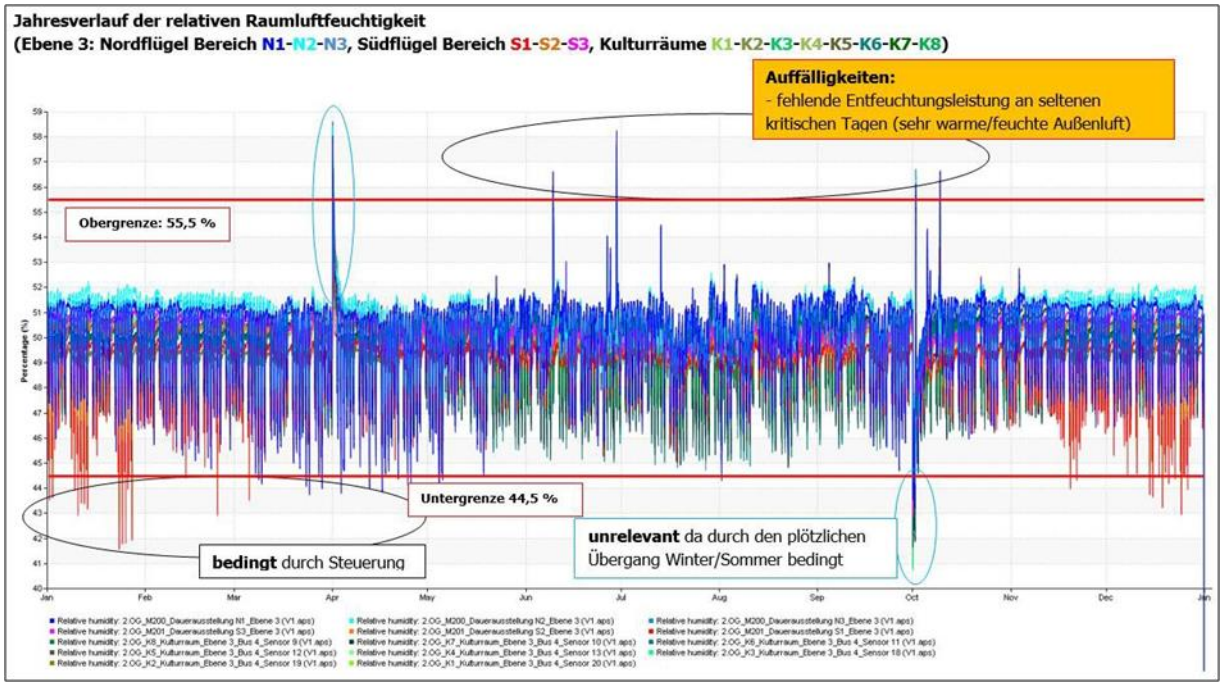

Abbildung 11:

Relative Luftfeuchtigkeit: Verlauf über das Jahr in der Dauerausstellung

Quelle: Herz & Lang GmbH

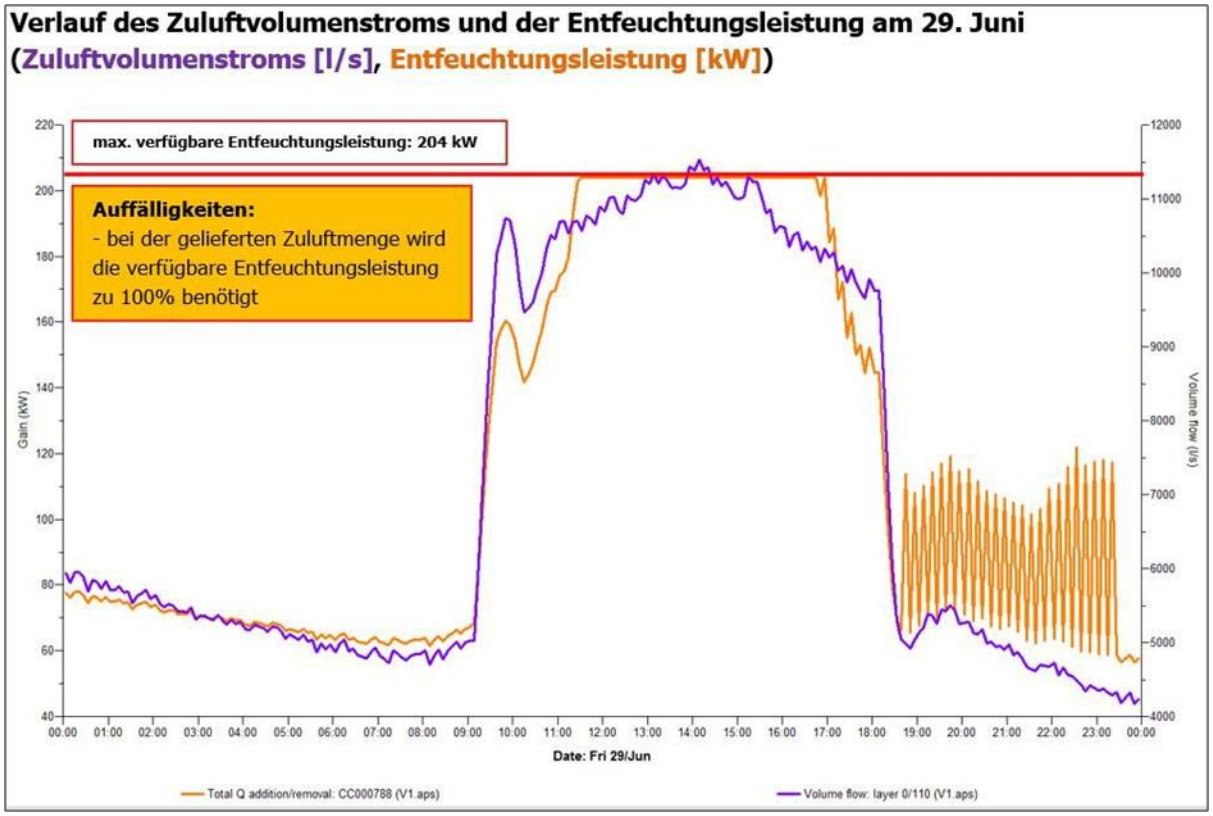

Abbildung 12:

Leistungsaufnahme der Kühlregister: Für Kühlung und Entfeuchtung an einem Tag mit Überschreitung der geforderten relativen Luftfeuchtigkeit

Quelle: Herz & Lang GmbH

Trotz einer über das Jahr hinweg äußerst stabilen Lufttemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit (siehe Abbildungen 10 und 11) kam es an einigen Tagen zu Überschreitungen der geforderten relativen Luftfeuchtigkeit, bedingt durch eine hohe absolute Feuchtigkeit außerhalb des Gebäudes. Die präzise Unterteilung des Gebäudes und die detaillierte Modellierung des HVAC-Systems ermöglichten eine schnelle Identifikation der Ursachen (siehe Abbildung 12) und die Untersuchung der kosteneffizientesten Lösung.

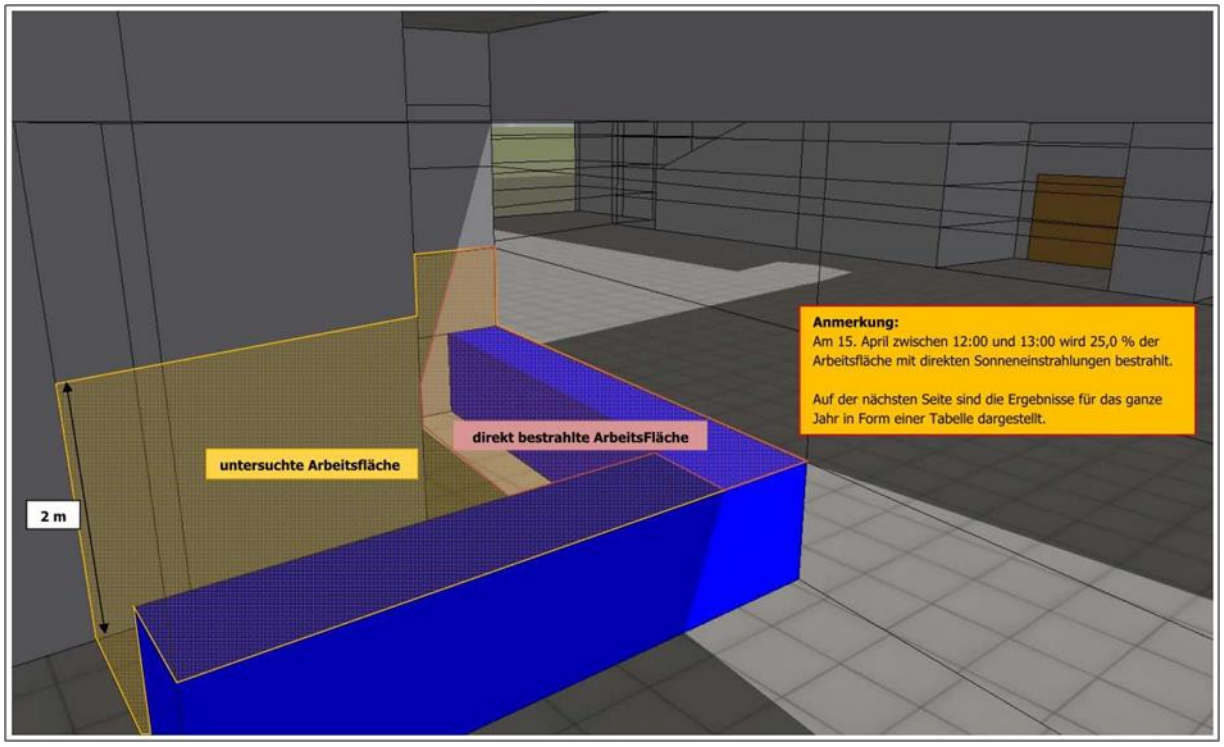

Abbildung 13:

Analyse: Direkte Sonneneinstrahlung auf Arbeitsplätze in der Eingangshalle

Quelle: Herz & Lang GmbH

Da das 3D-Modell des Gebäudes für die oben genannten Hauptzwecke verfügbar war, wurde es auch für zusätzliche Untersuchungen verwendet. Ein Beispiel hierfür ist die Analyse der direkten Sonneneinstrahlung auf Arbeitsplätze in der Eingangshalle (siehe Abbildung 13), um den Komfort der Arbeitsplätze zu optimieren und die Anforderungen der deutschen Arbeitsstättenverordnung zu erfüllen.

Abschließende Bewertung

Trotz eines Projektteams ohne Erfahrung im Bereich Passivhaus und anfänglicher Vorbehalte gegenüber dynamischen Gebäudesimulationen begeisterte die Kombination aus Passivhaus-Berechnung und präziser dynamischer Gebäudesimulation mit IESVE schließlich alle Beteiligten. Diese Methode erwies sich als äußerst kosteneffizient, um das Gebäude zu optimieren.

Die Skepsis gegenüber dynamischen Gebäudesimulationen resultiert häufig aus der aktuellen Uneinheitlichkeit auf dem Markt. Während günstige und schnelle Lösungen oft nur eine geringe Ergebnisgenauigkeit liefern, bieten leistungsstarke Softwarelösungen zwar detaillierte Gebäudesimulationen, sind jedoch zeitaufwendiger. Der beste Weg, Zweifel auszuräumen, besteht darin, die Ergebnisse erfolgreicher Projekte zu bewerten – wie in diesem Fall. Solche Ergebnisse konnten nur mit einem leistungsstarken Tool wie IESVE erzielt werden.