

Konzepte für innovative Gebäude

Thermik – Strömung – Licht
in der Computersimulation

Donau-Universität Krems
Zentrum für Bauen und Umwelt
www.donau-uni.ac.at/bau

Ingenieurbüro P. Jung
Lüderichstr. 2
D-51105 Köln
T: +49 (221) 6160864
F: +49 (221) 6160865
www.jung-ingenieure.de



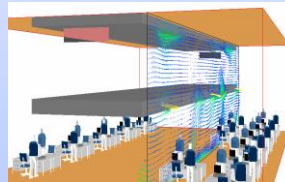
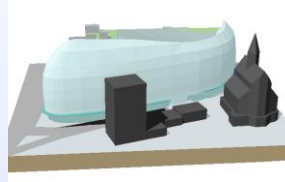
Gebäude- und
Anlagensimulation

Energiekonzepte

Tarifberatung

Berechnung von freier
Luftströmung

Tageslicht-
simulation



Berechenbar und planbar durch Simulation?

Dipl.-Ing. Patrick Jung

Visiting Professor Donau-Universität Krem

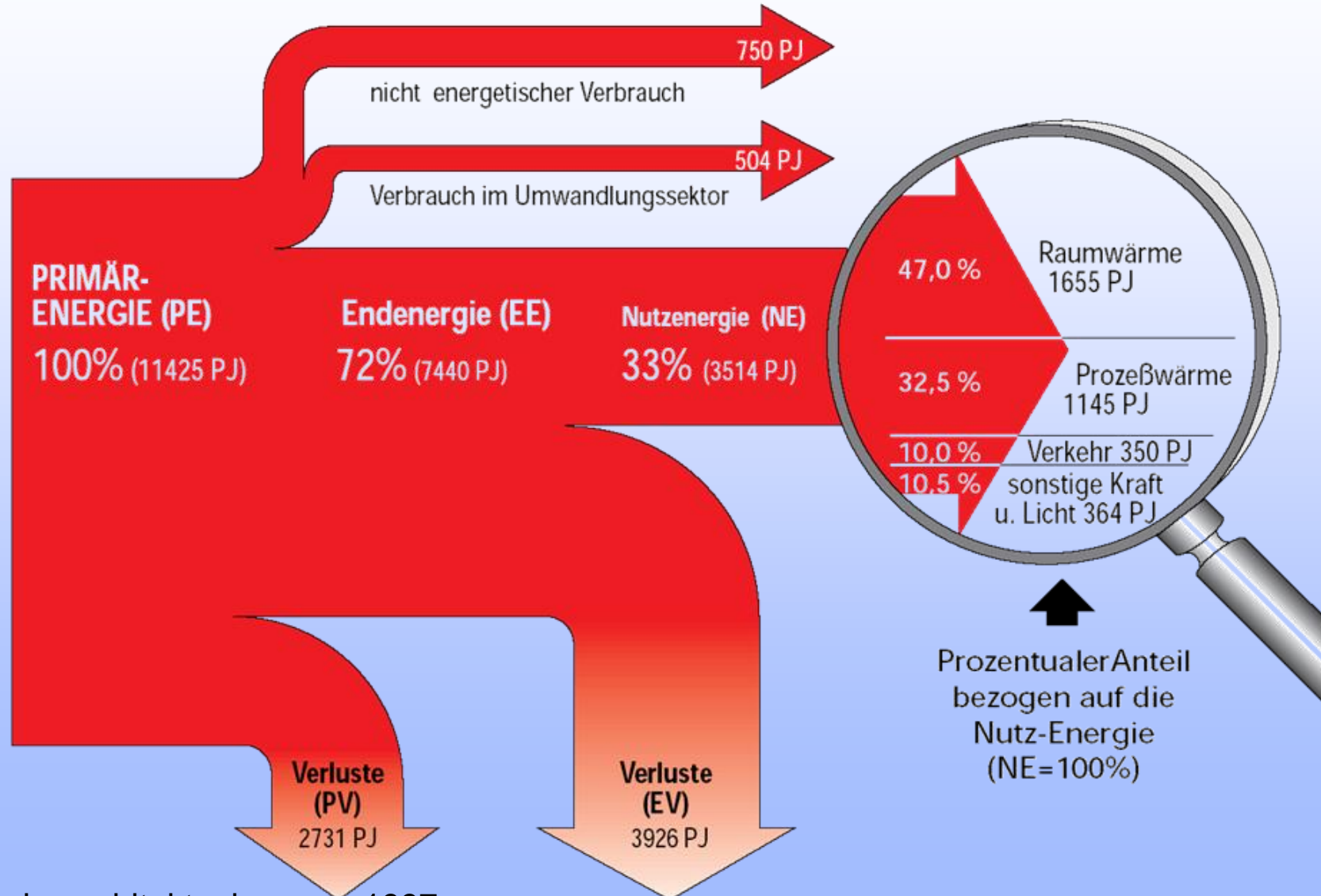
Jahresfachtagung Baukultur: „Thermohaut frisst Baukultur?“

LWL Amt für Landschafts- und Baukultur in Westfalen

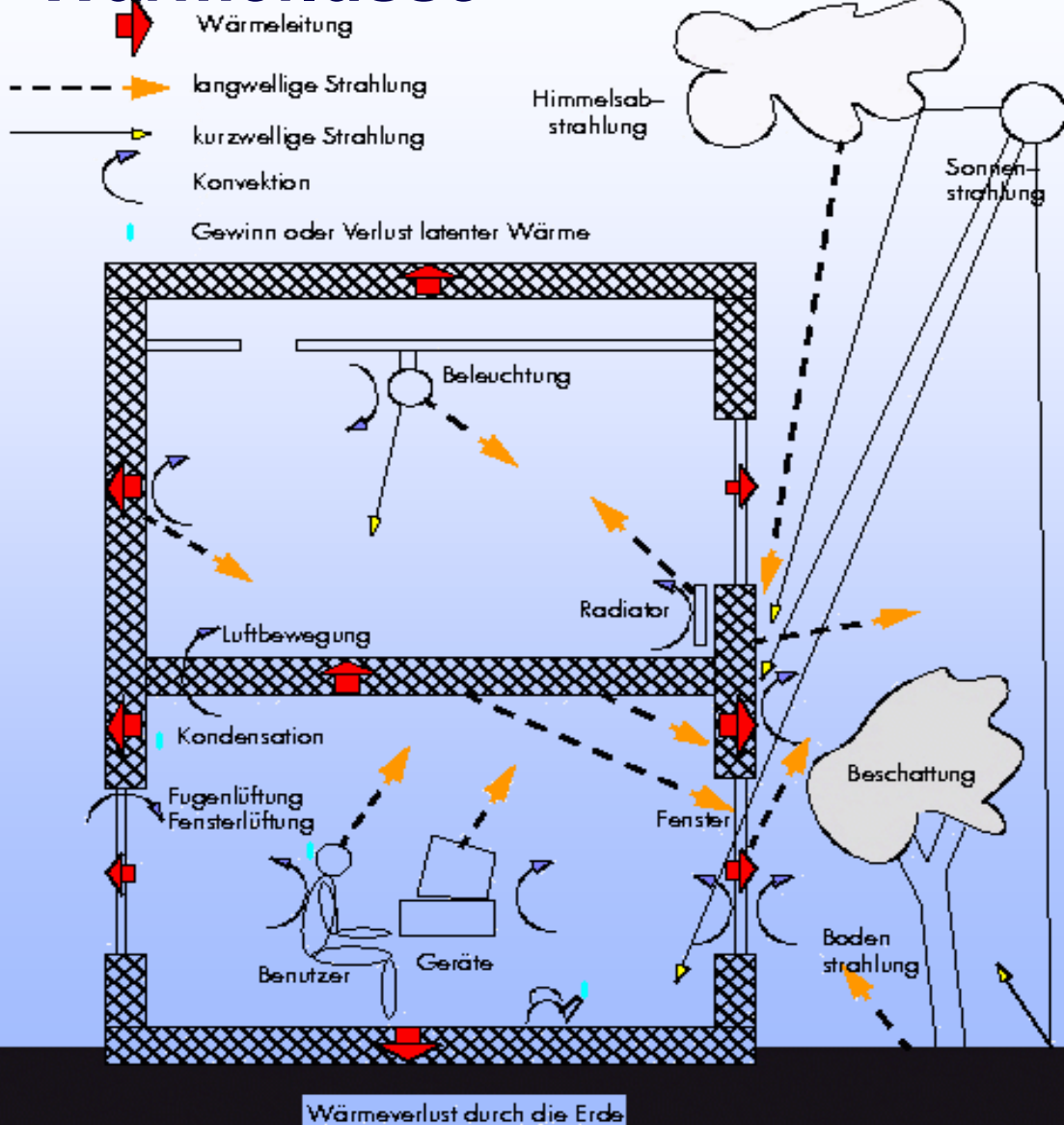
25. November 2010

Zeche Zollern, Dortmund

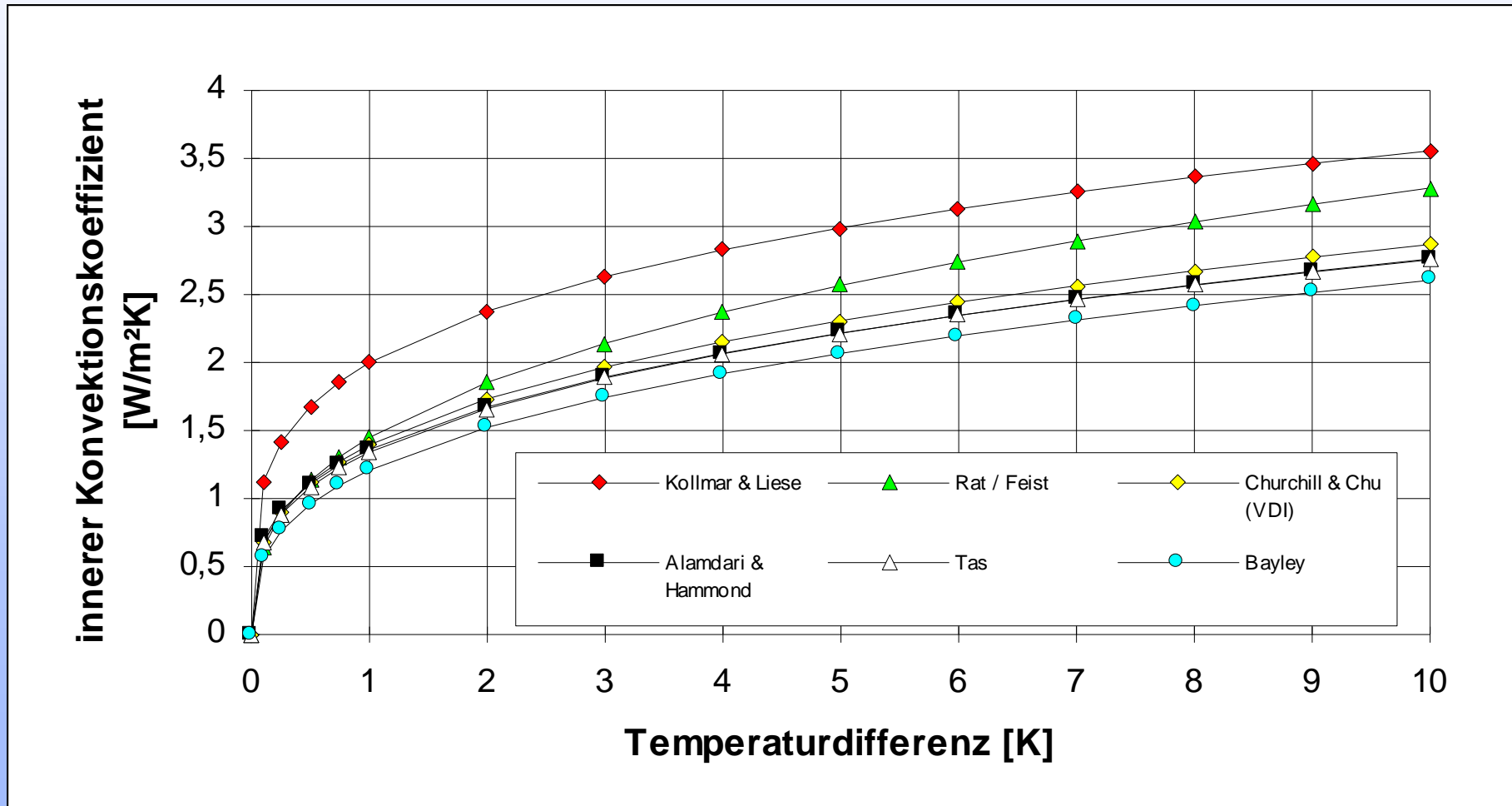
Ressourcen schonen



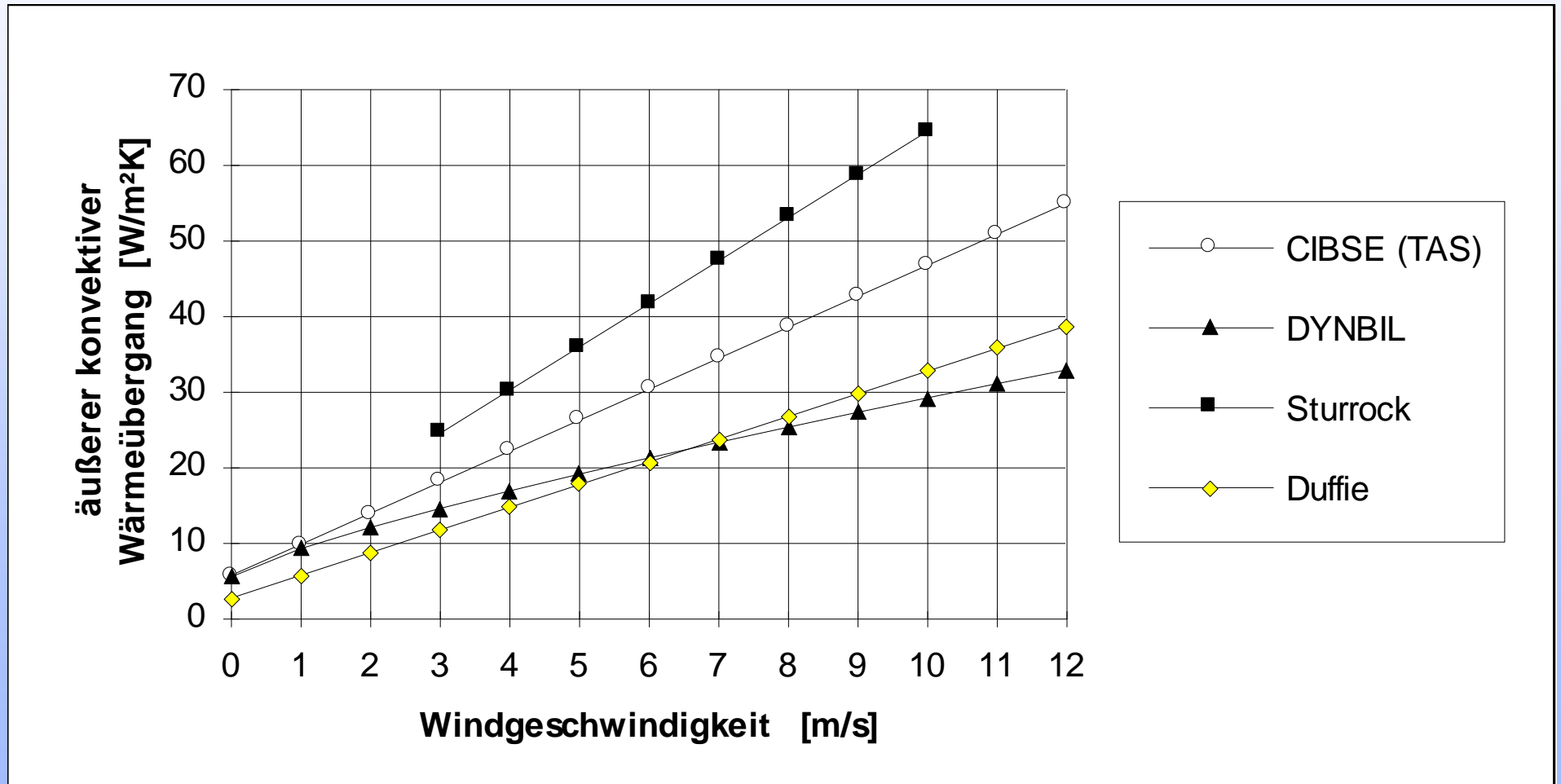
Wärmeflüsse



konvektiver Wärmeübergang innen



konvektiver Wärmeübergang außen



radiativer Wärmeübergang außen

$$\dot{q}_{\text{sky}} = \dot{q}_{\text{sky,klar}} + b \dot{q}_{\text{sky,bew}} = \varepsilon_{\text{klar}} \sigma T_{\text{Luft}}^4 + b (1 - \varepsilon_{\text{klar}}) \sigma T_{\text{Tau}}^4$$
$$\varepsilon_{\text{bew}} = 1 - \varepsilon_{\text{klar}}$$

mit

T_{Tau}	Taupunkttemperatur der Luft in geschätzter Wolkenhöhe (K)
T_{Luft}	Außenlufttemperatur (K)
ε_{bew}	Emissionsgrad der Wolken
b	Bewölkungsgrad

Wärmestromgleichung

$$\rho \frac{\delta (c_p T)}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(\lambda \frac{\delta T}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\lambda \frac{\delta T}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(\lambda \frac{\delta T}{\delta z} \right) + \dot{q}_u = \operatorname{div} (\lambda \operatorname{grad} T) + \dot{q}_u$$

$T(x, y, z)$ Temperatur (K),

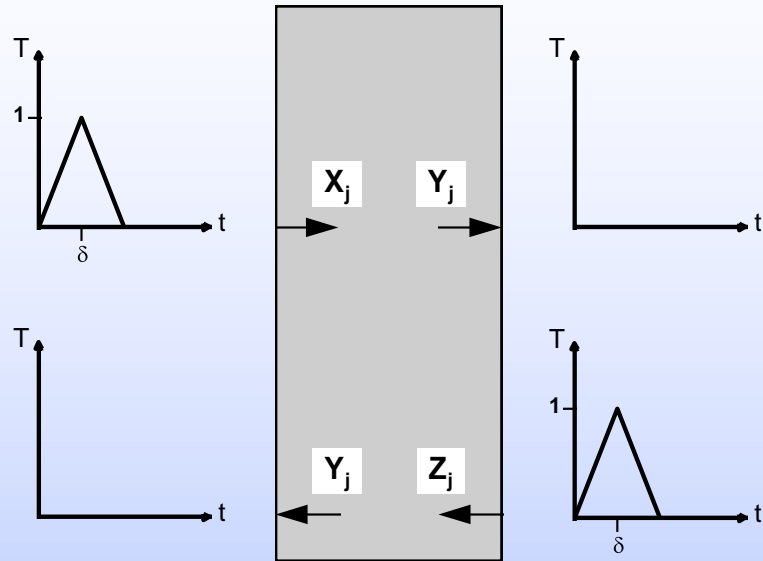
$\rho(x, y, z)$ Dichte (kg / m³),

$c_p(x, y, z)$ spezifische Wärmekapazität (J / kg K),

$\lambda(x, y, z)$ Wärmeleitfähigkeit (W / m K)

$\dot{q}_u(x, y, z)$ Leistungsquellendichte (W / m²)

Response Faktoren

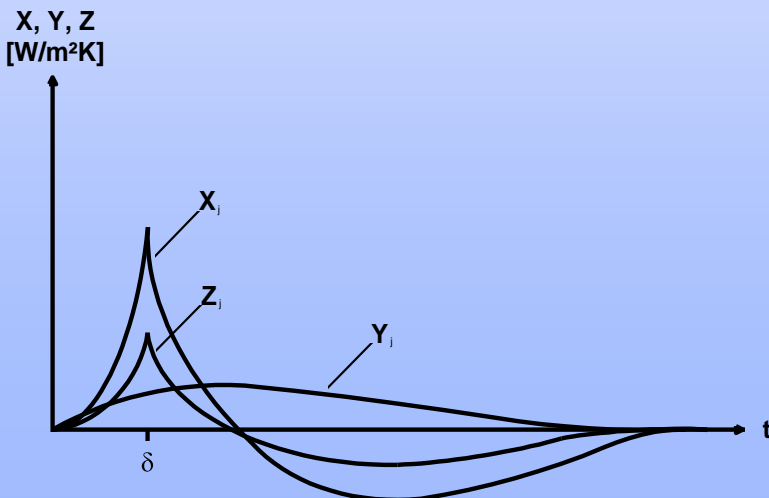


X_j Y_j Z_j heißen Response Faktoren.

X_j ist die Grösse des Wärmestromes aussen
infolge eines Temperaturstörimpulses von aussen

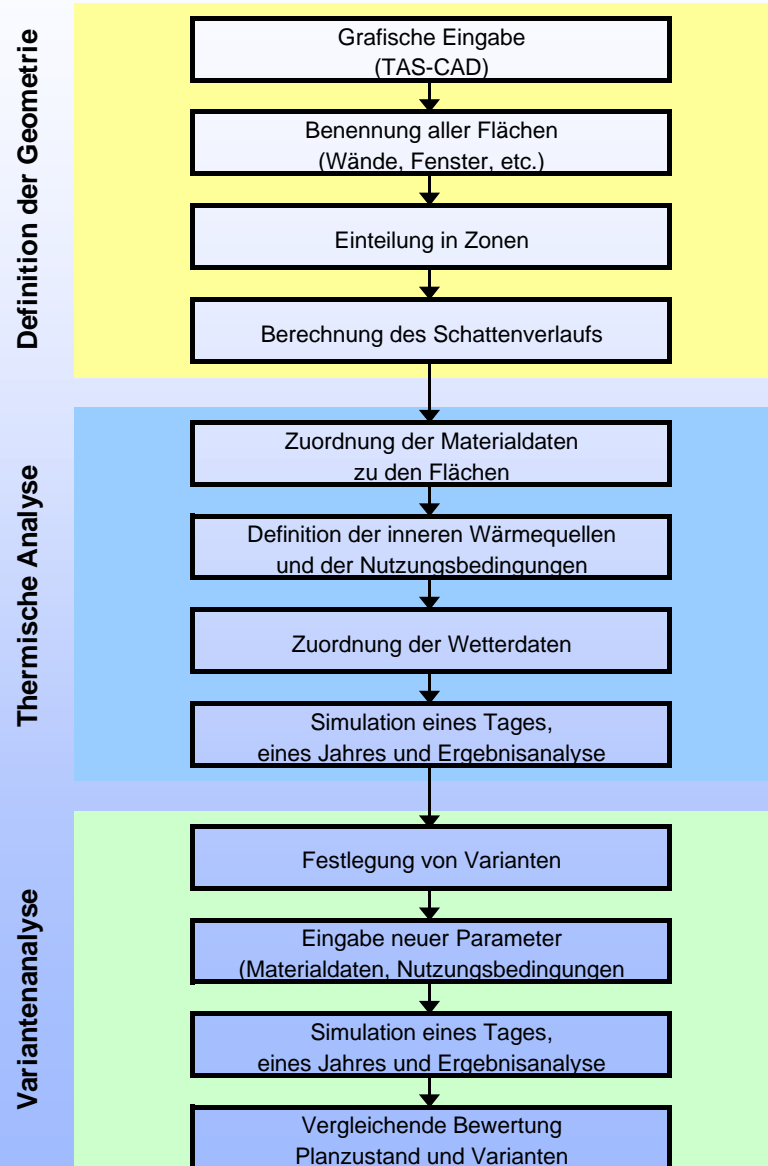
Y_j ist die Grösse des Wärmestromes innen
infolge eines Temperaturstörimpulses von aussen

Z_j ist die Grösse des Wärmestromes innen
infolge eines Temperaturstörimpulses von innen



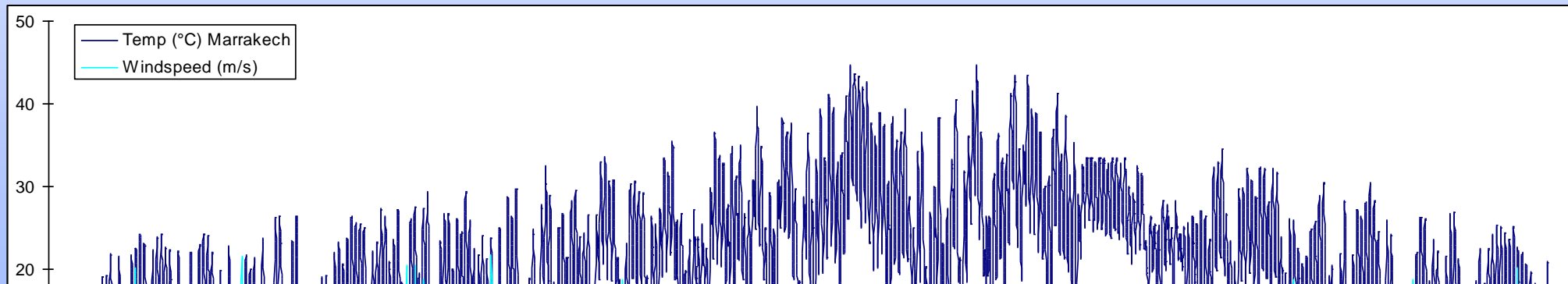
Jeder beliebige Temperaturverlauf lässt sich durch Überlagerung
von dreieckigen Temperaturstörimpulsen darstellen.

Zeitlicher Ablauf einer Gebäudesimulation mit TAS

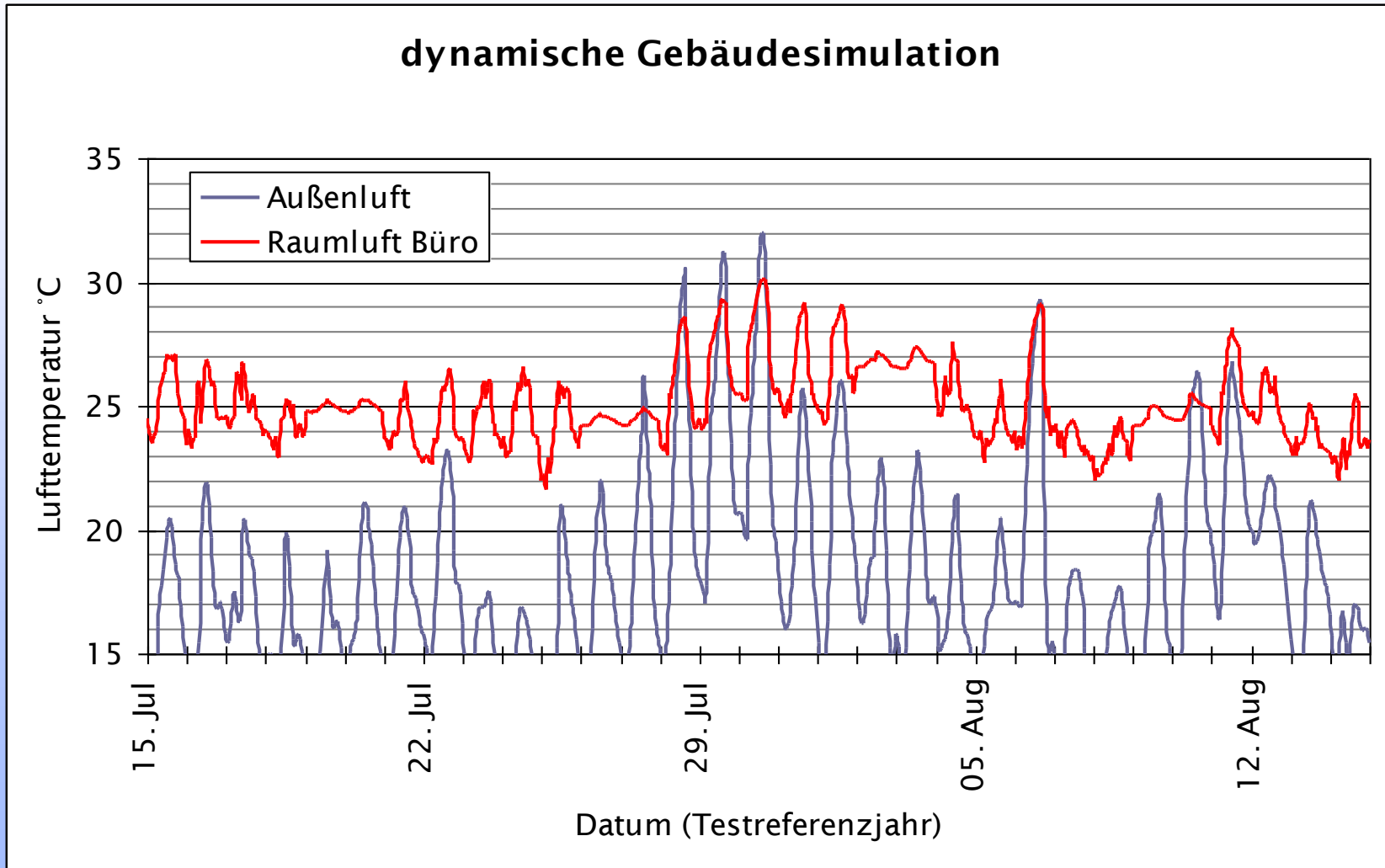


Wetterdaten

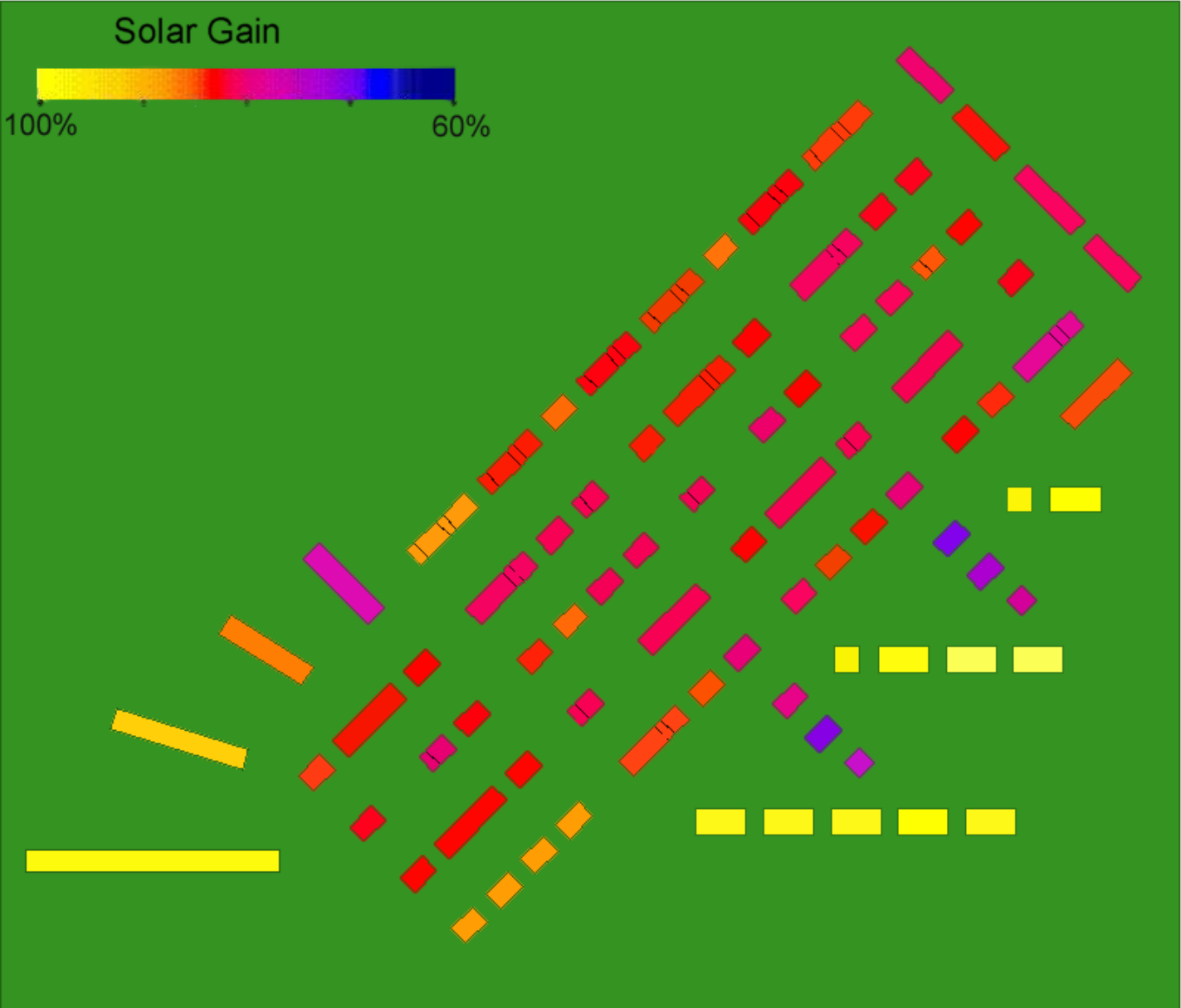
Für eine Gebäudesimulation im Zeitschrittverfahren werden Wetterdaten in mindestens **stündlicher** Auflösung benötigt um Speichereffekte korrekt zu bewerten.

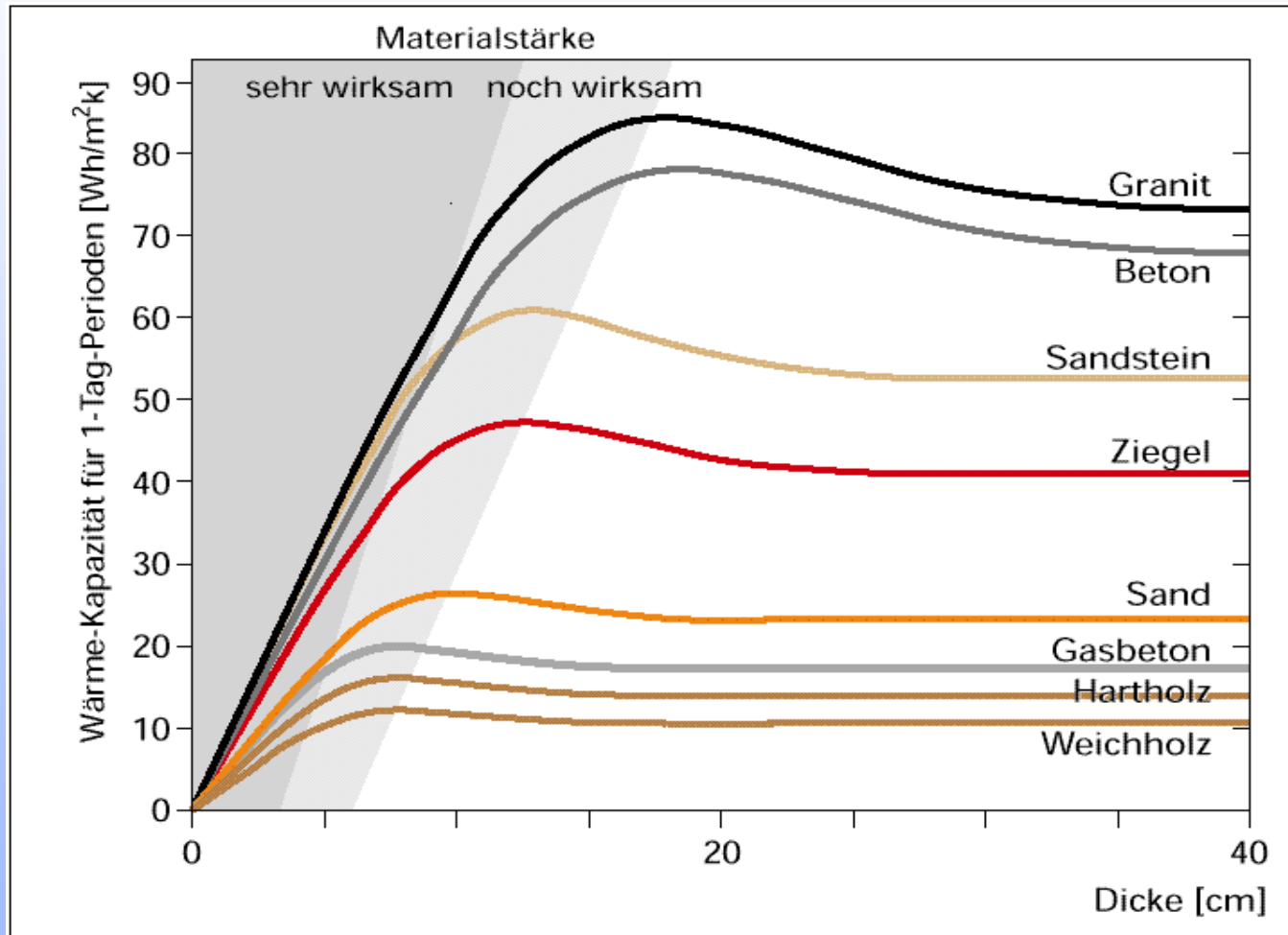


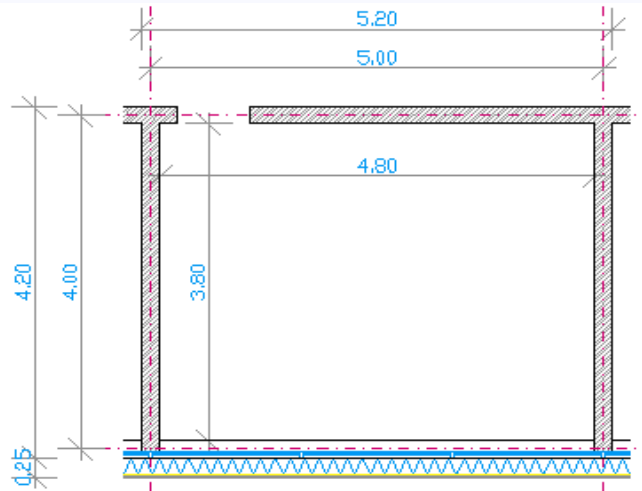
Typisches Simulationsergebnis



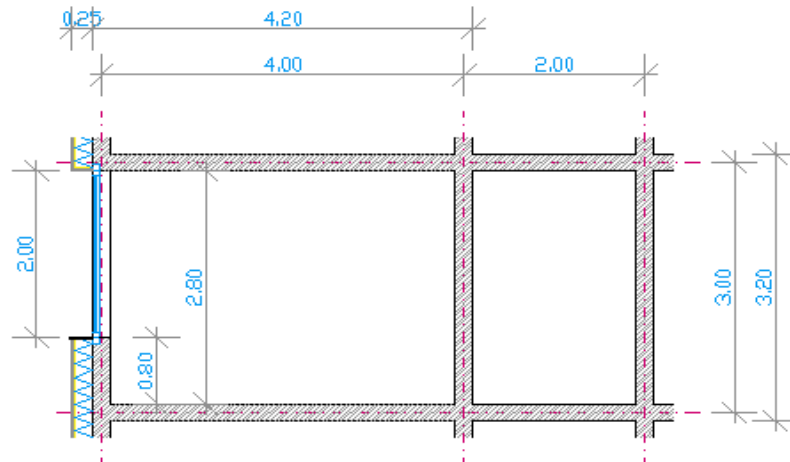
SOLARANALYSE







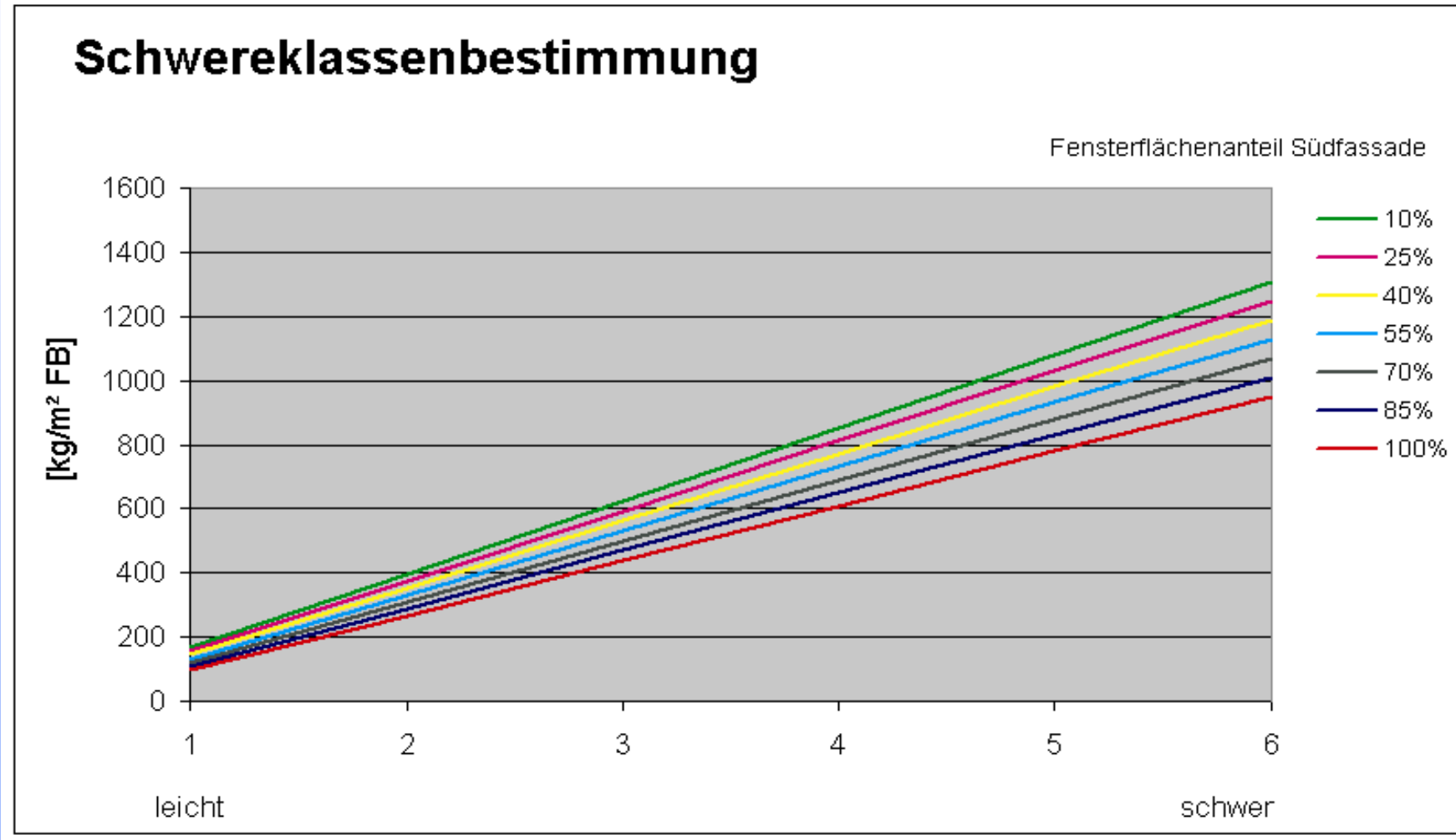
SIMULATIONSRAUM: GRUNDRISS



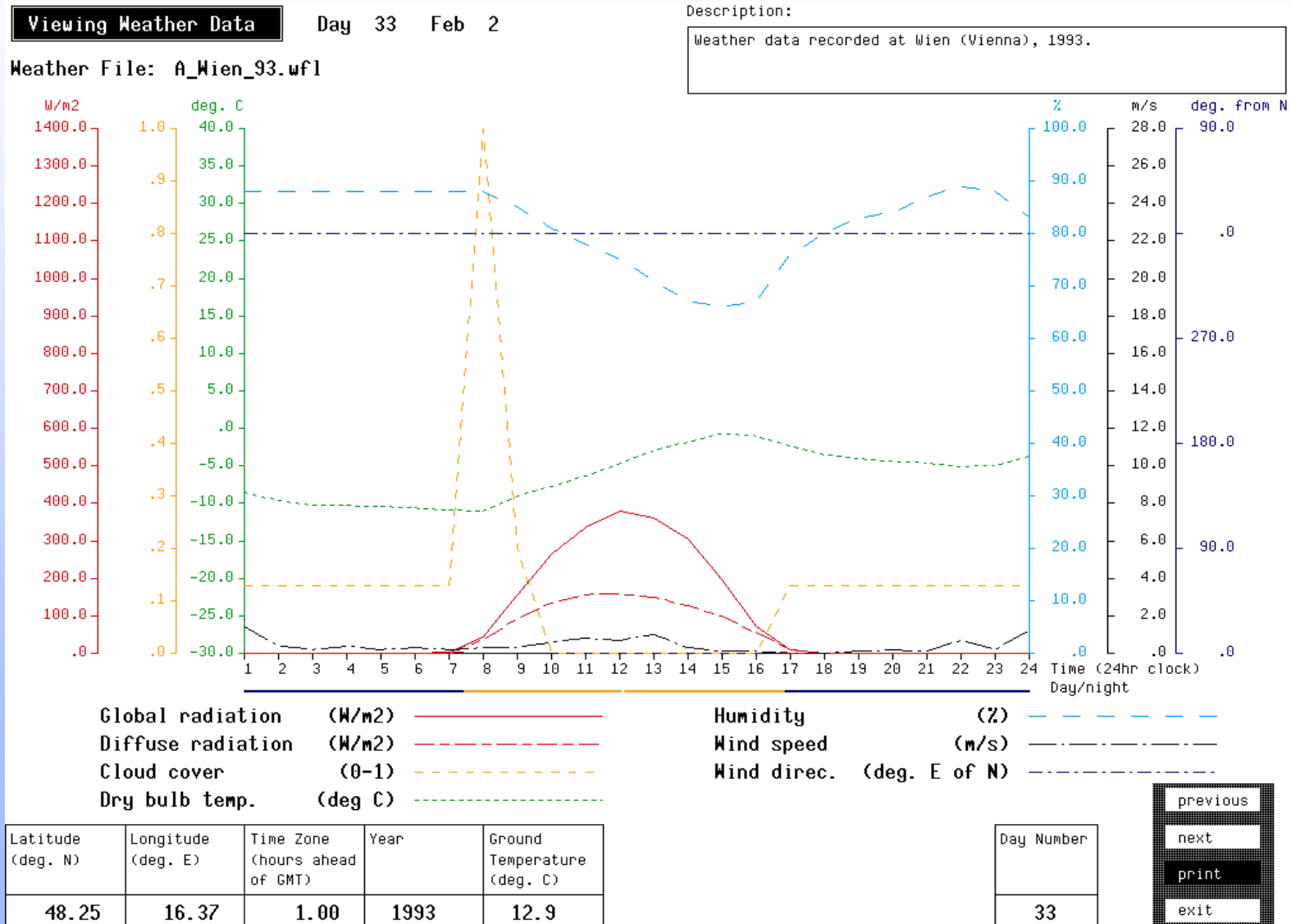
SIMULATIONSRAUM: SCHNITT



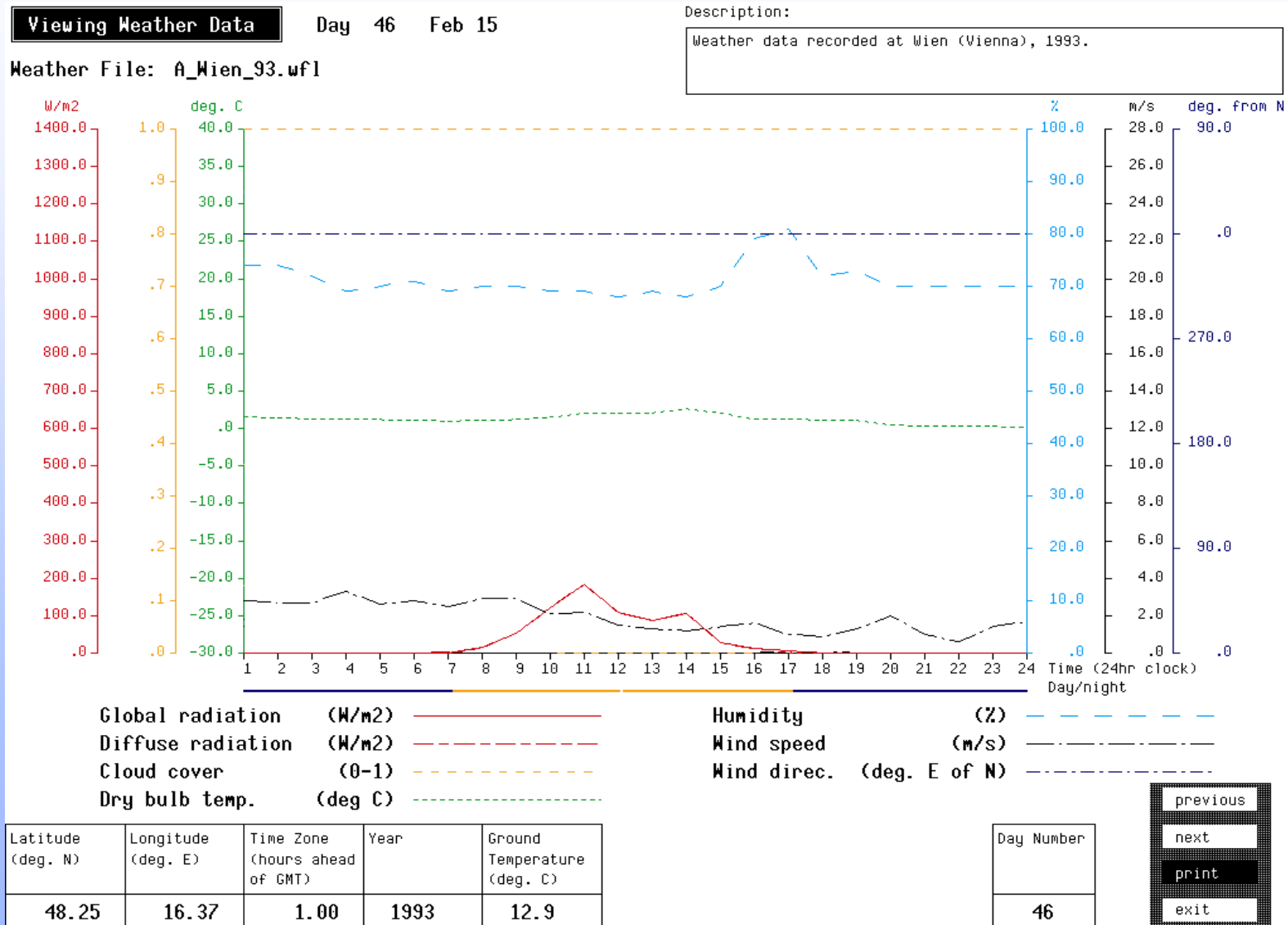
SCHWEREKLASSEN DER KONSTRUKTIONSMASSEN



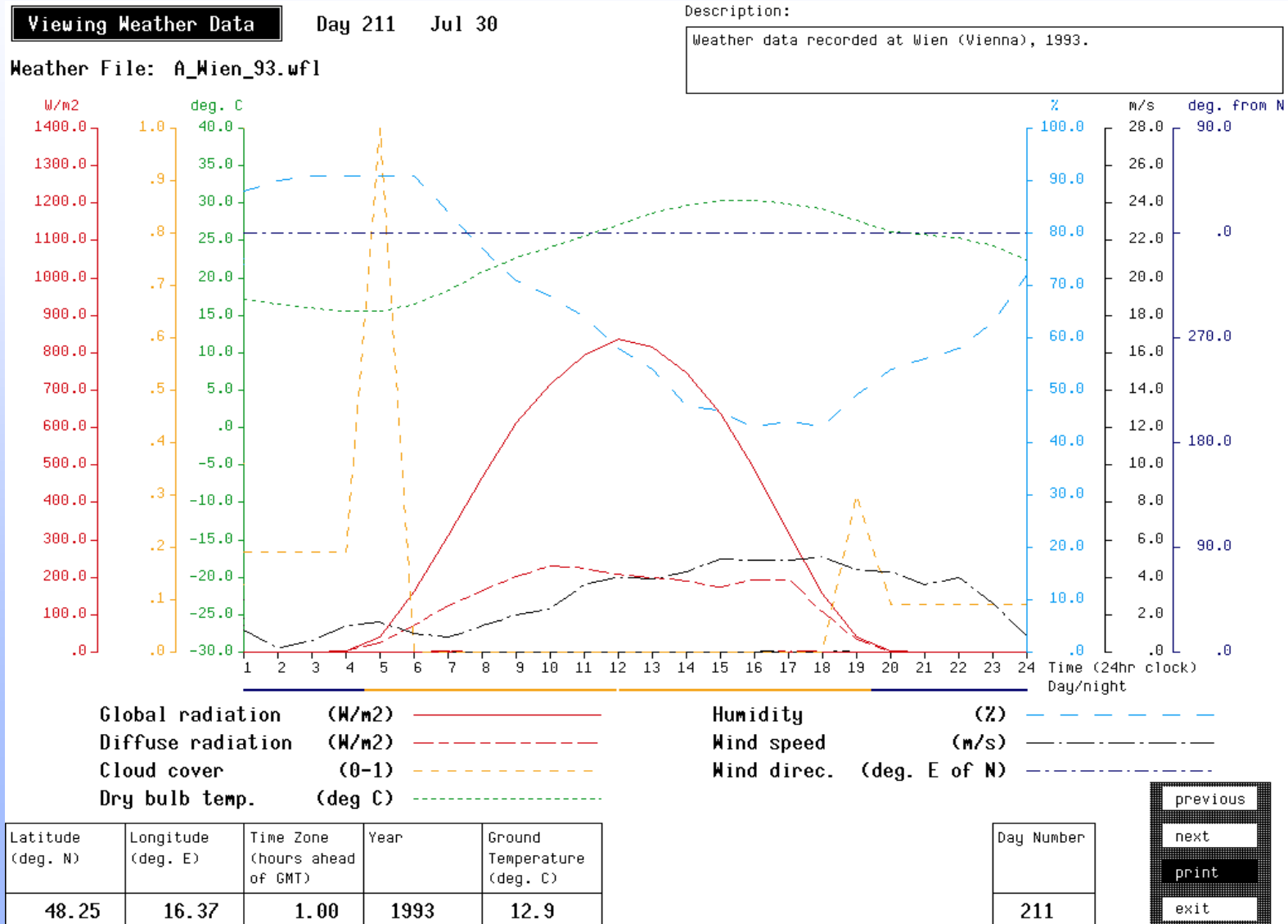
KLARER WINTERTAG



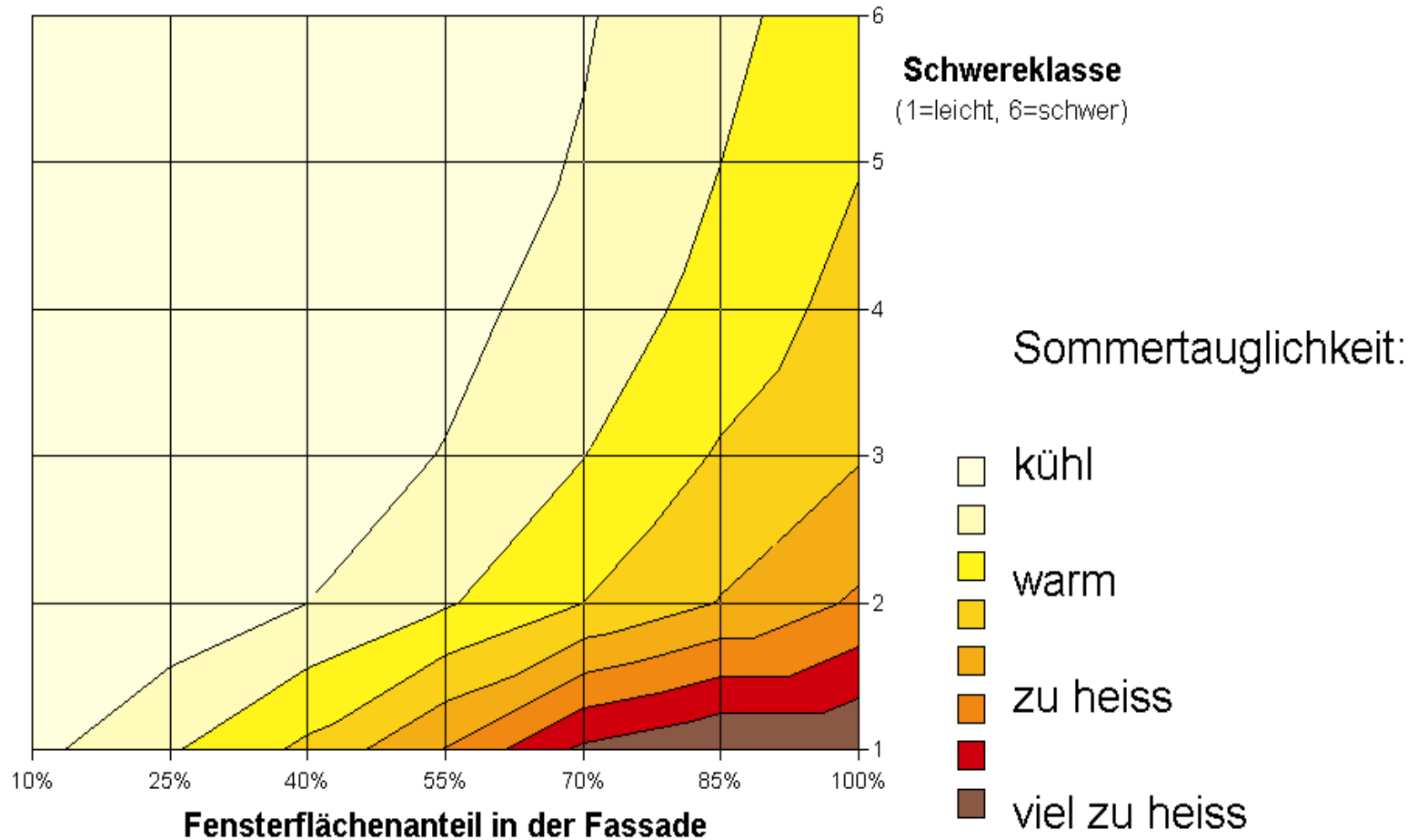
TRÜBER WINTERTAG



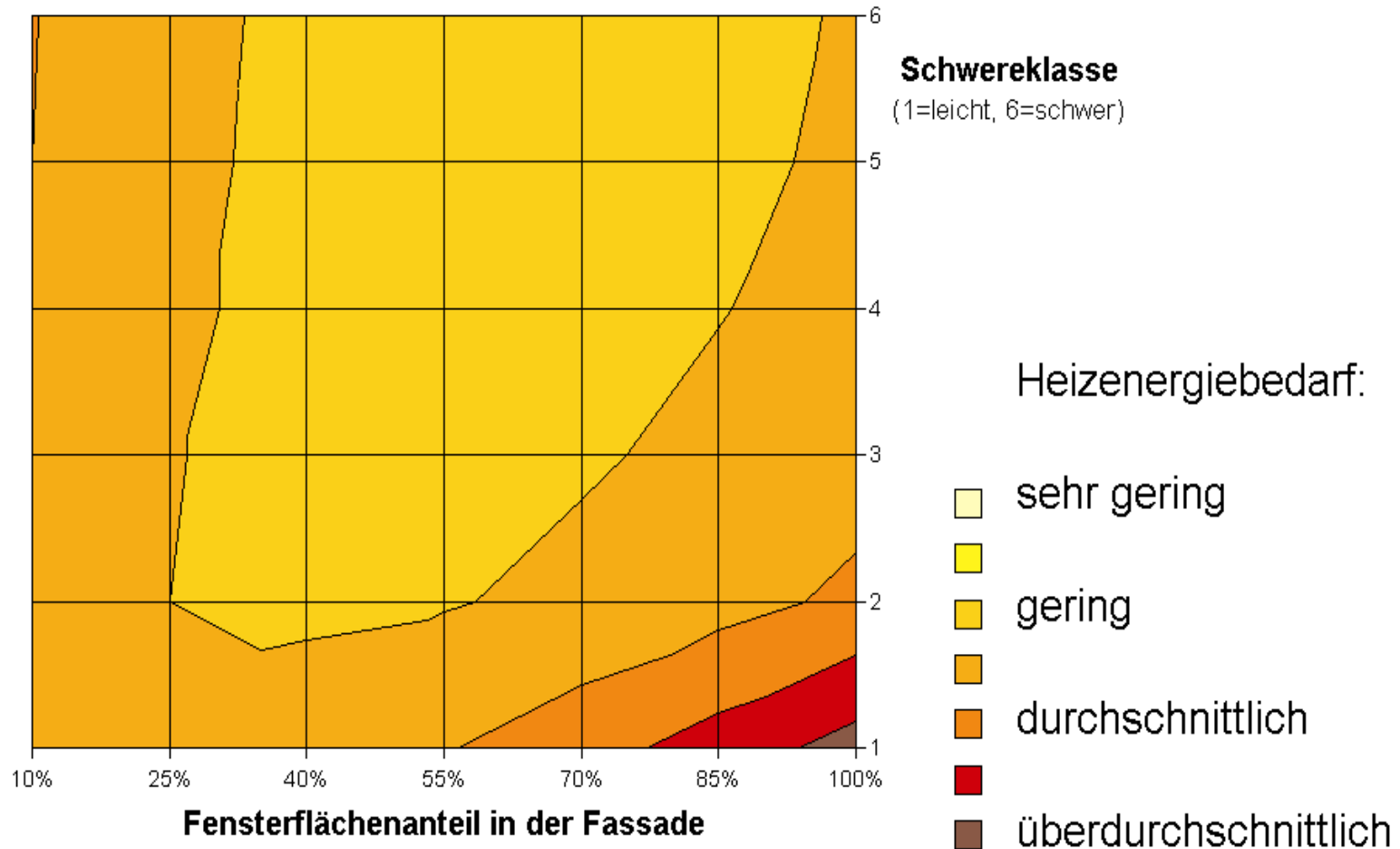
KLARER SOMMERTAG



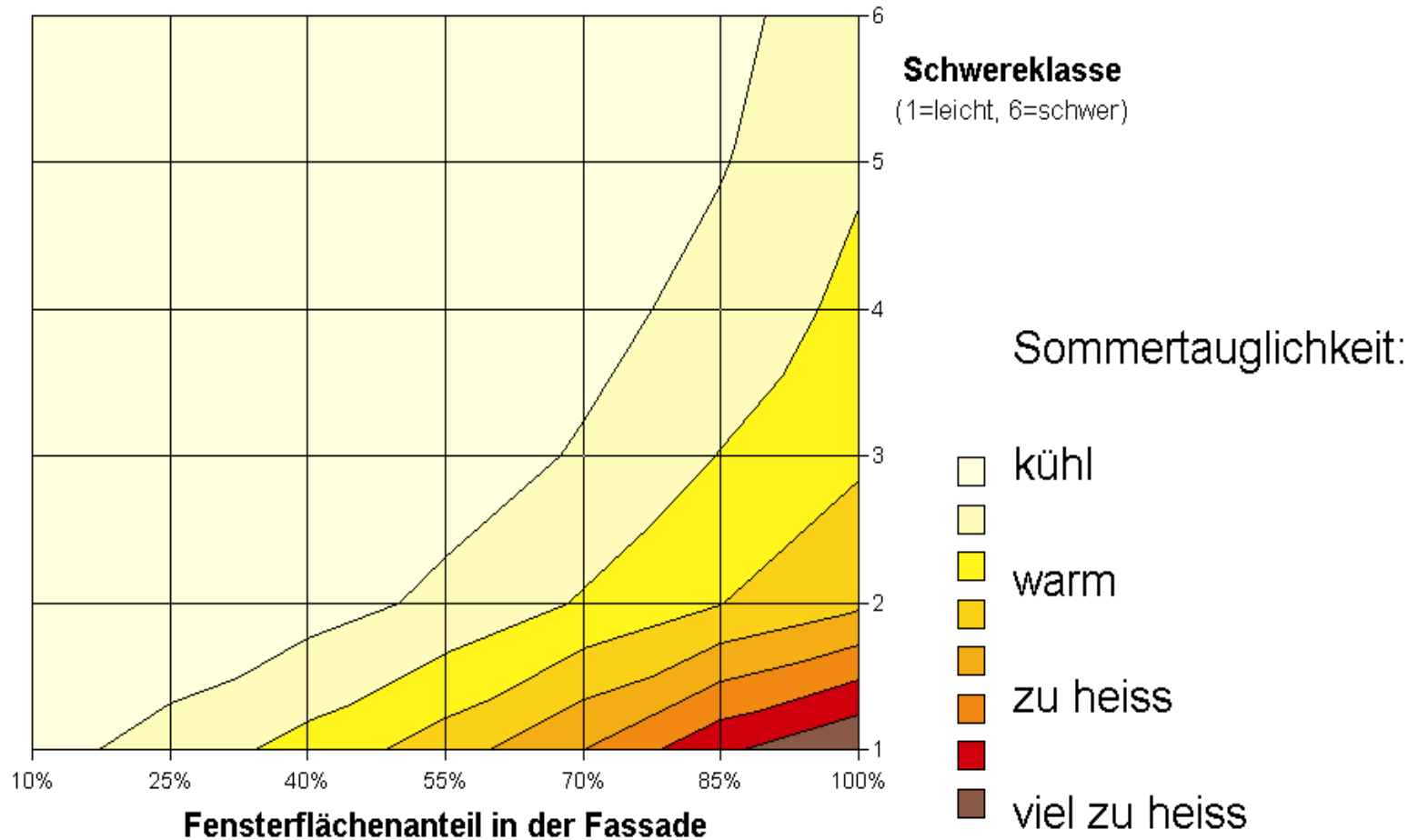
Sommertauglichkeit bei Fenster mit äußerem Sonnenschutz, $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$



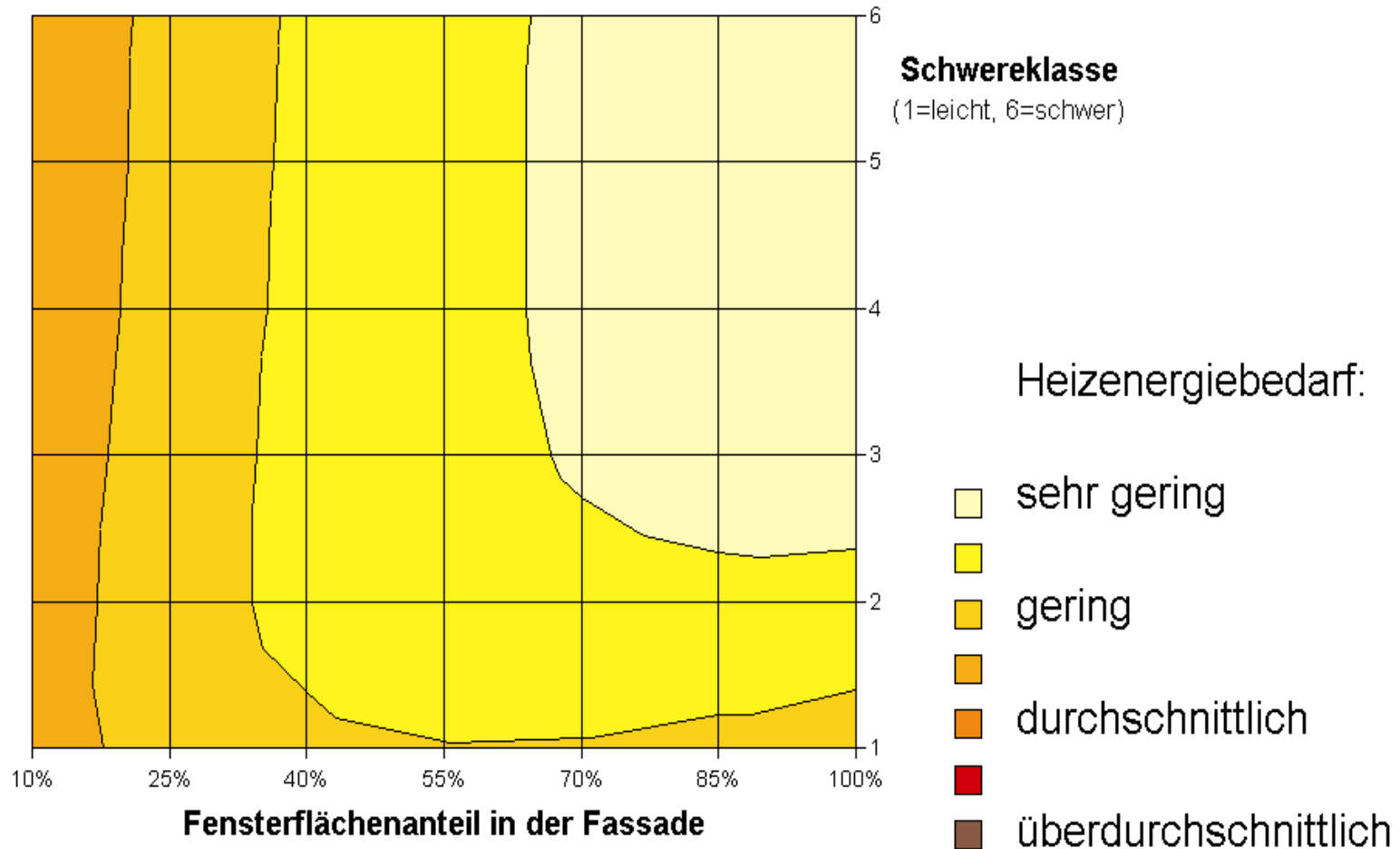
Heizenergiebedarf bei Fenster U=1,3 W/m²K



Sommertauglichkeit bei Fenster mit äußerem Sonnenschutz, $U=0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$



Heizenergiebedarf bei Fenster $U=0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Beteiligte:

Stadt Aschaffenburg

Architekturbüro Werner Haase, Karlstadt

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

IPJ GmbH

Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Vor Sanierung 1958



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Vor Sanierung 1958



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Heute



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Heute



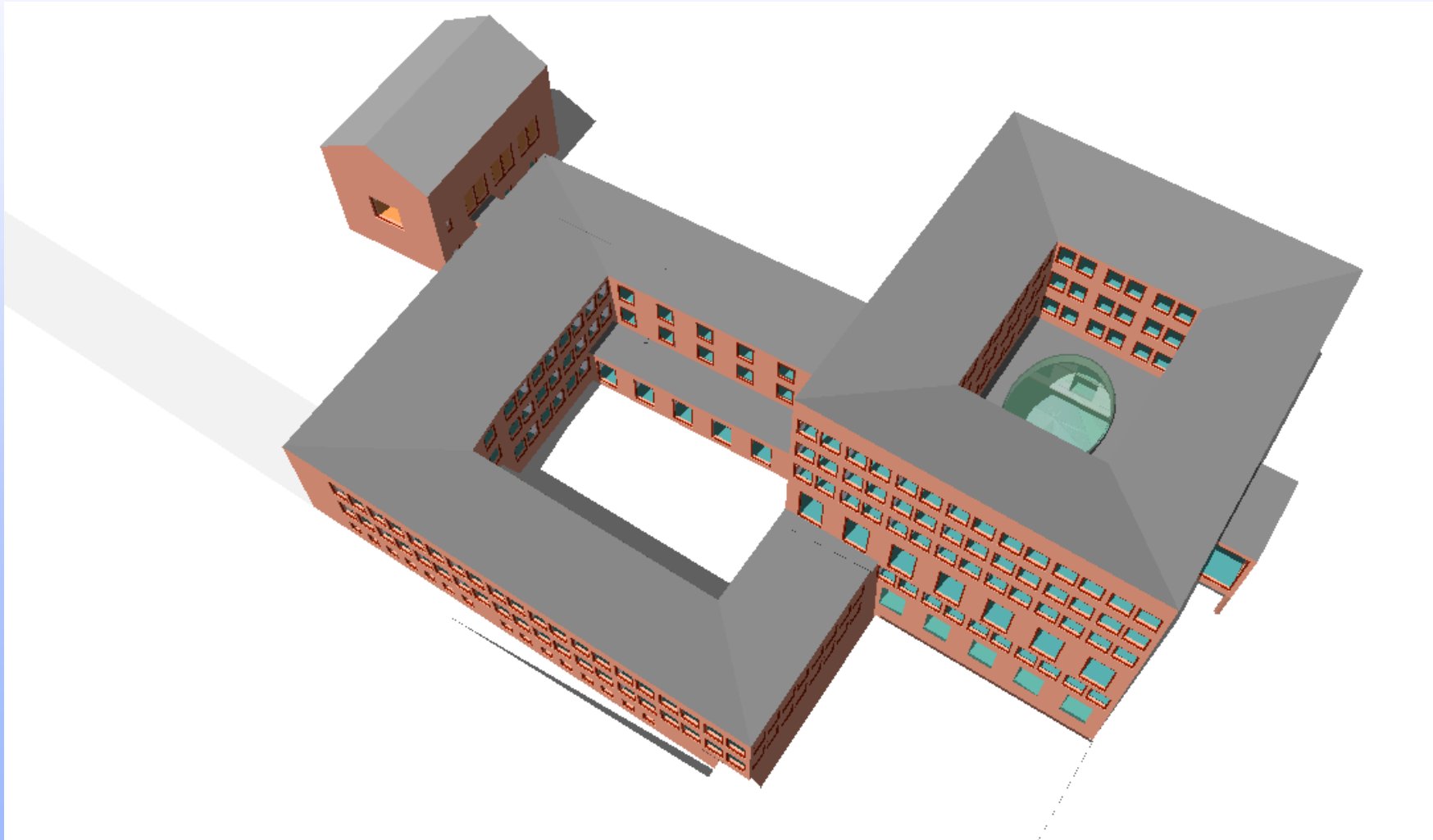
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Simulationsmodell Nordansicht 21. September 17 Uhr



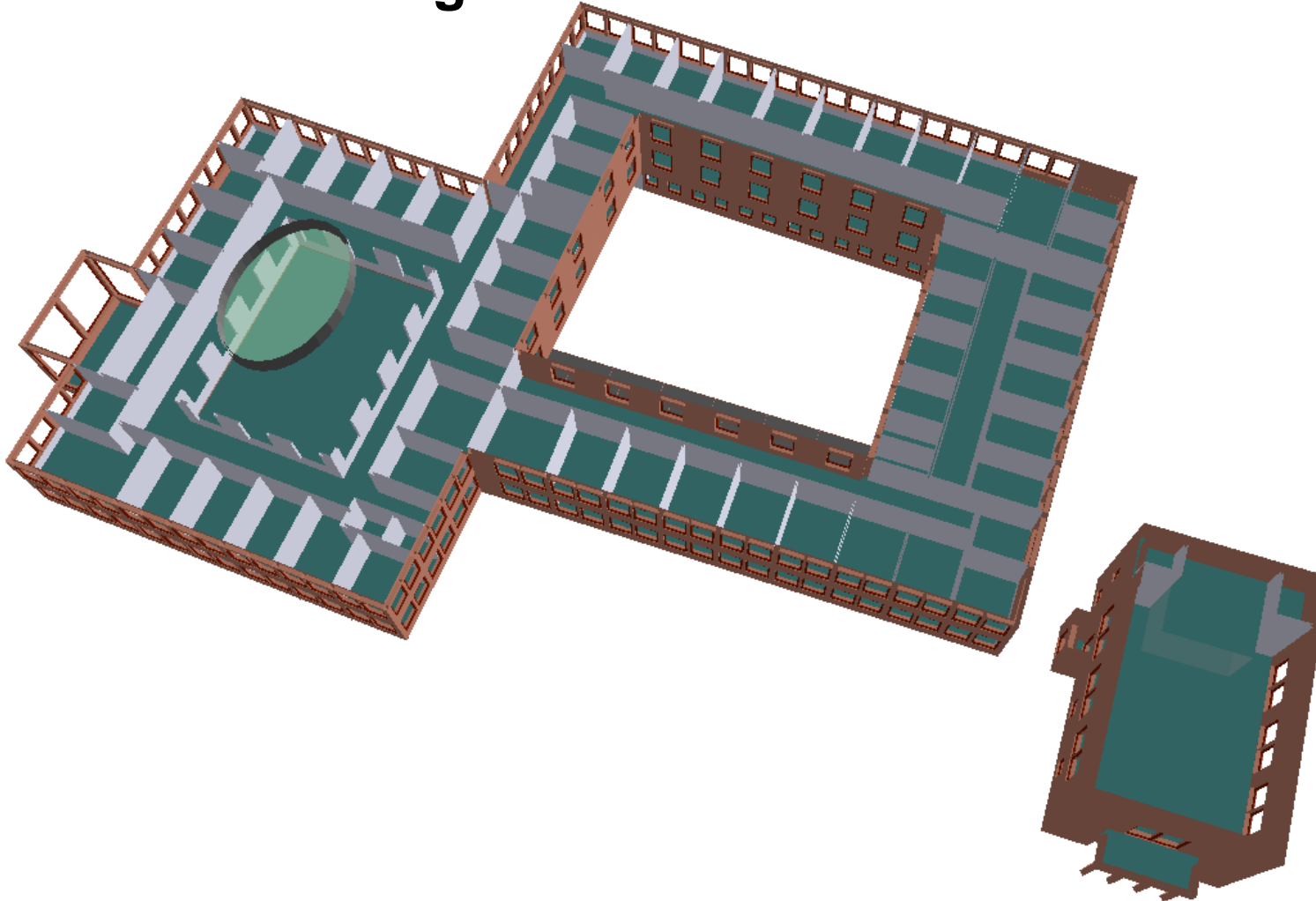
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Ostansicht 21. Juni 12 Uhr (Sonnenhöchststand)



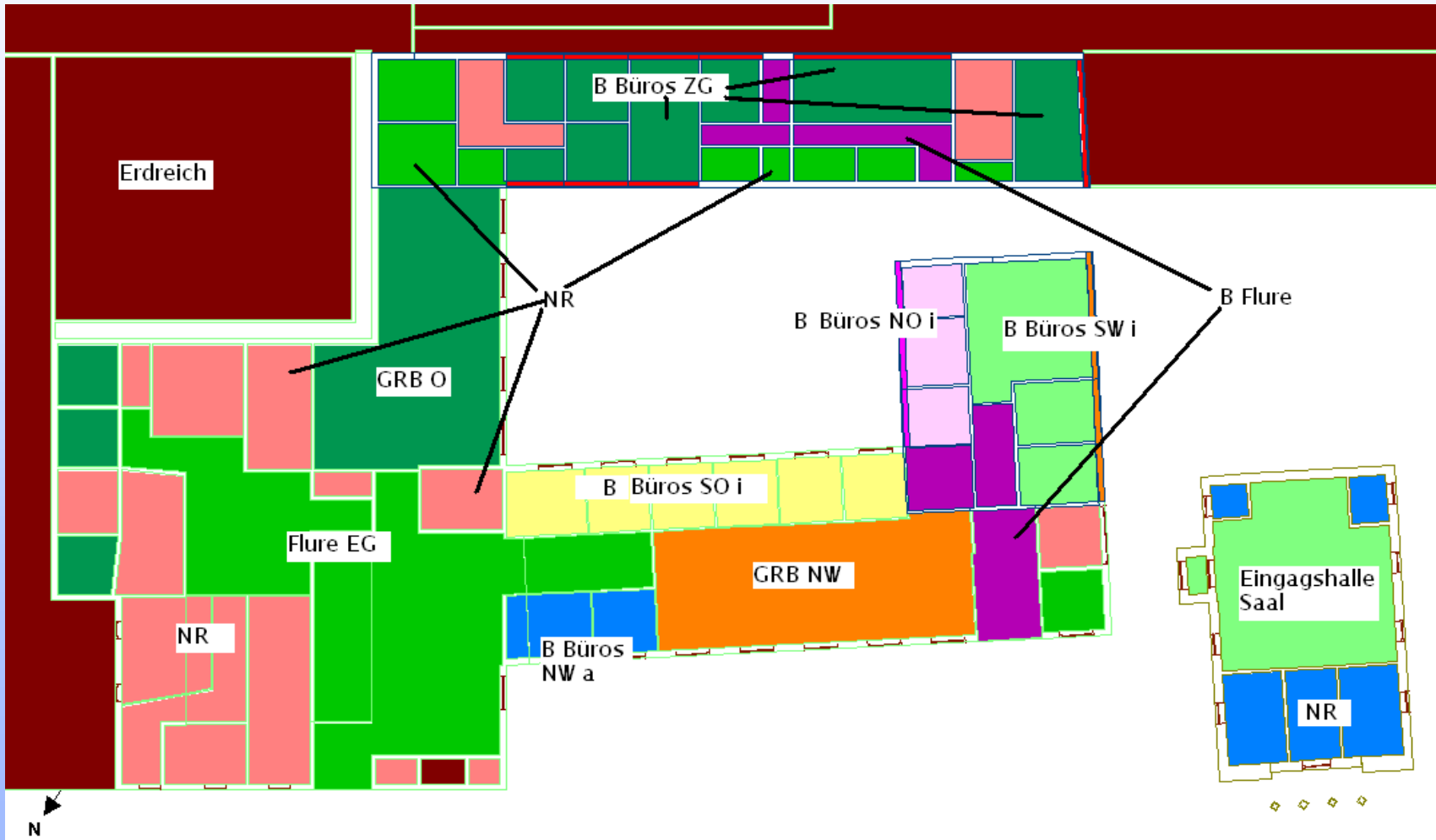
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Ansicht 2. Obergeschoß



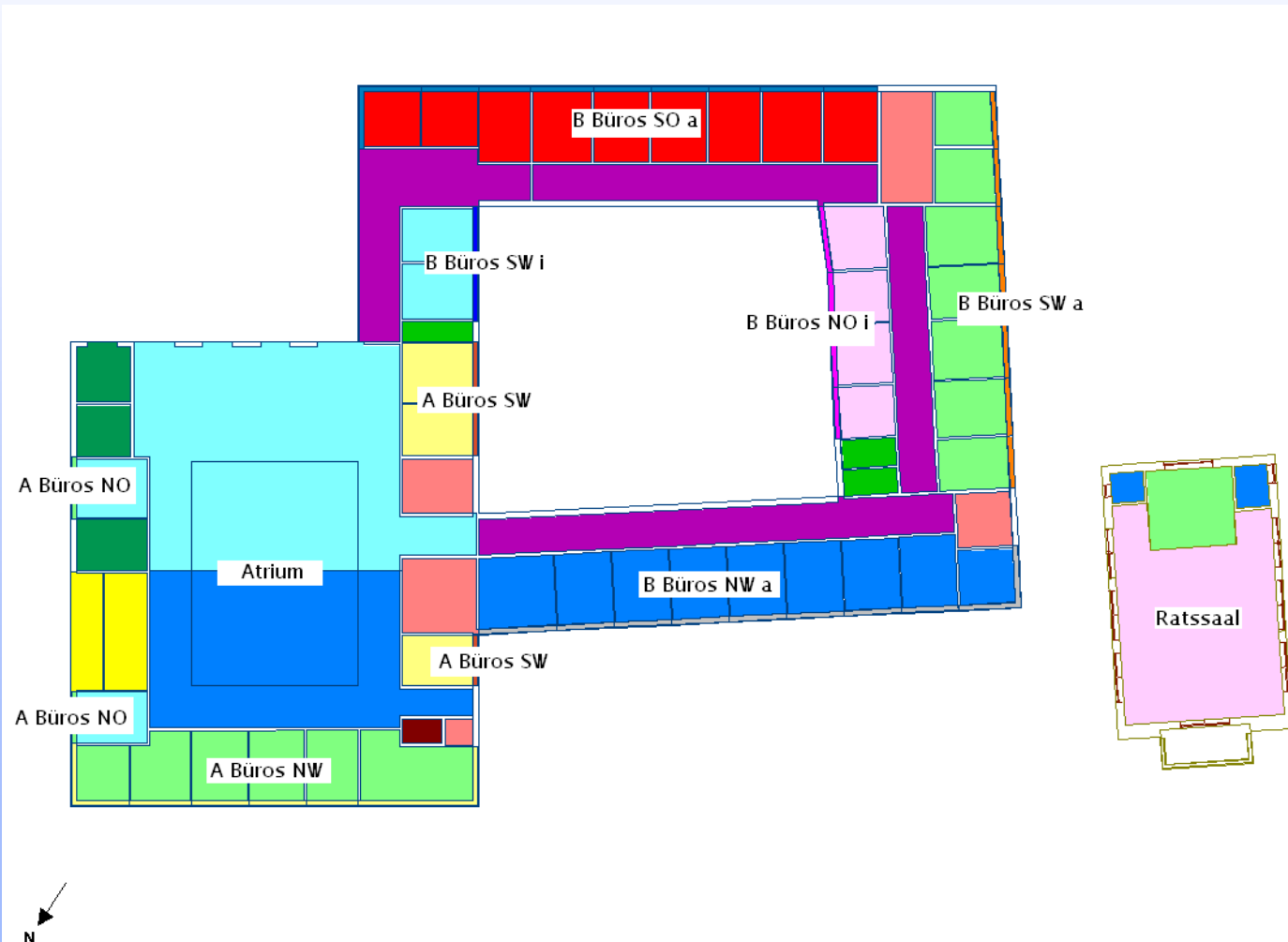
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Zoneneinteilung EG und ZG



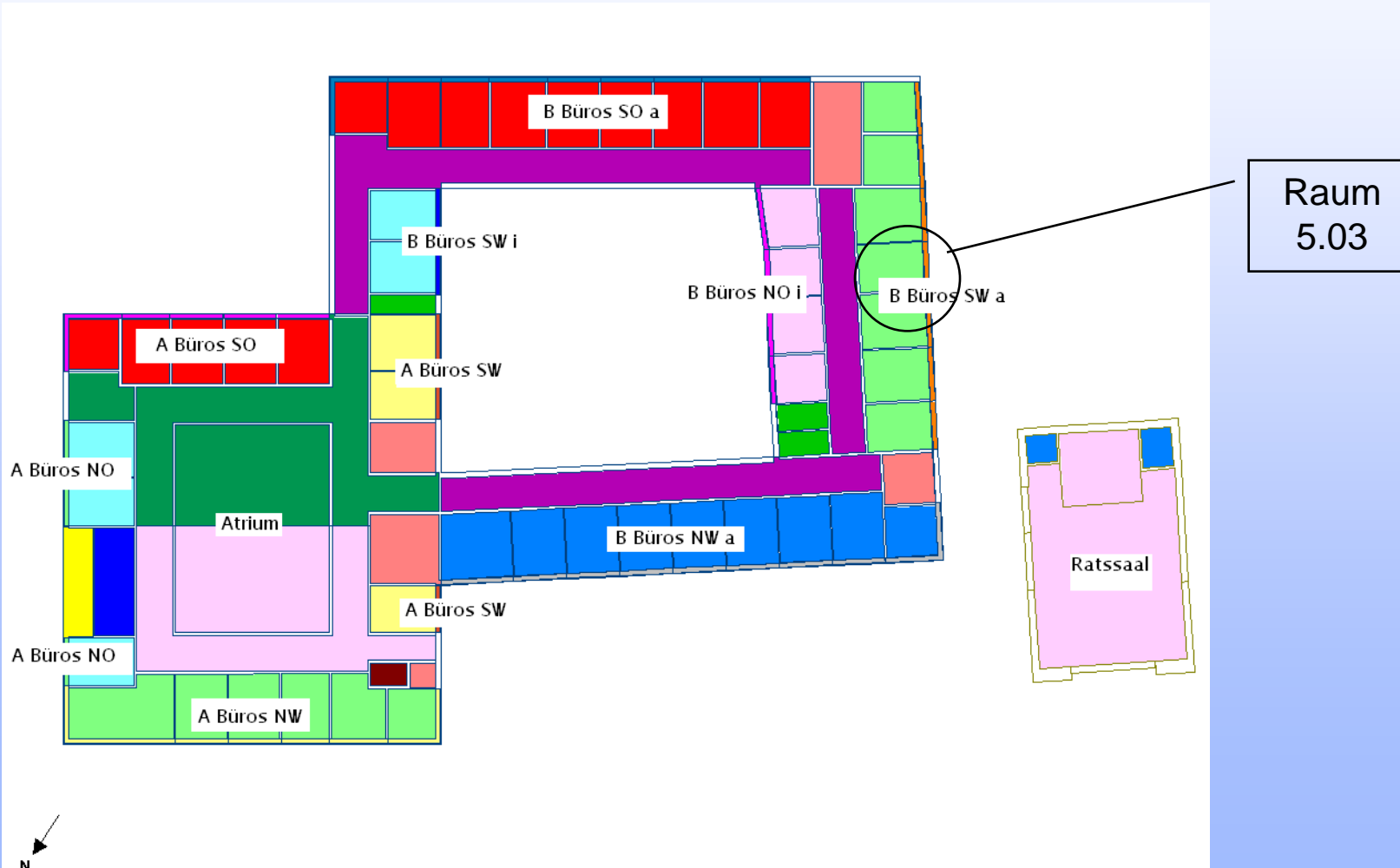
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Zoneneinteilung 1. OG



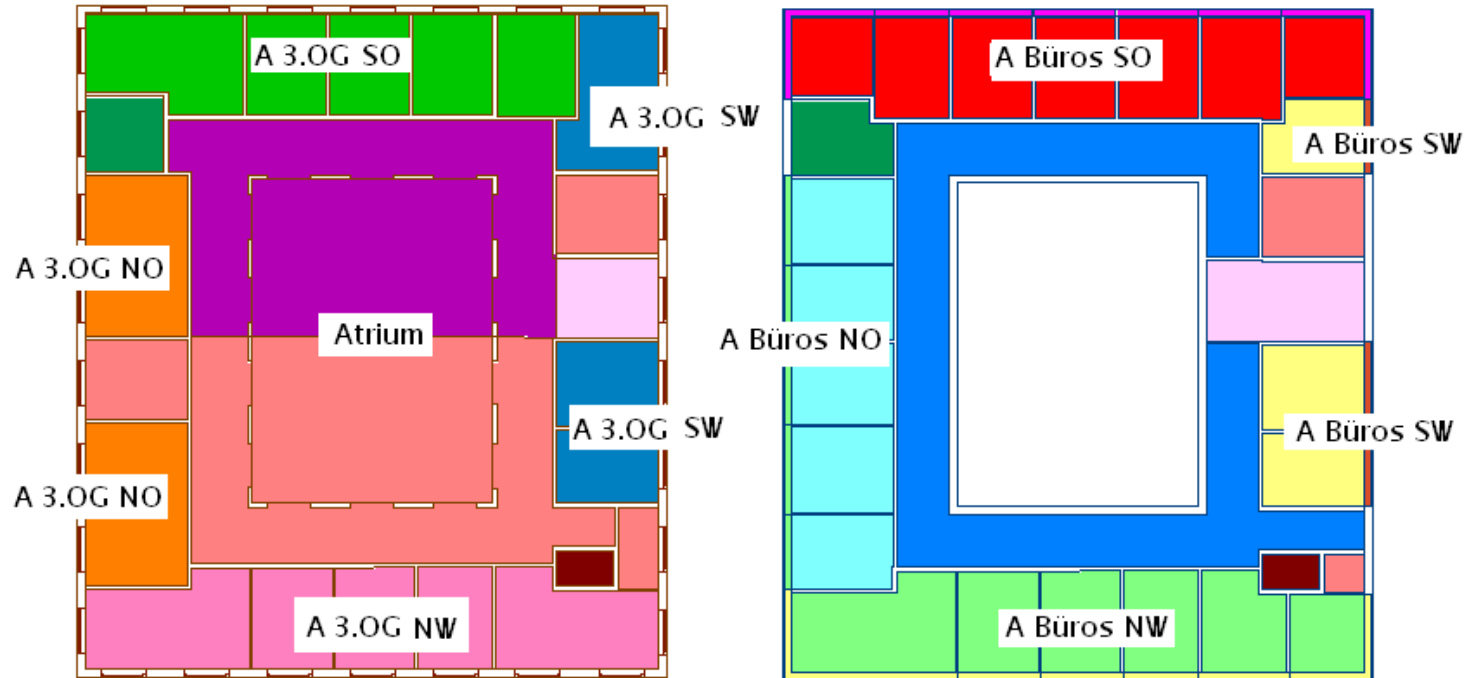
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Zoneneinteilung 2. OG



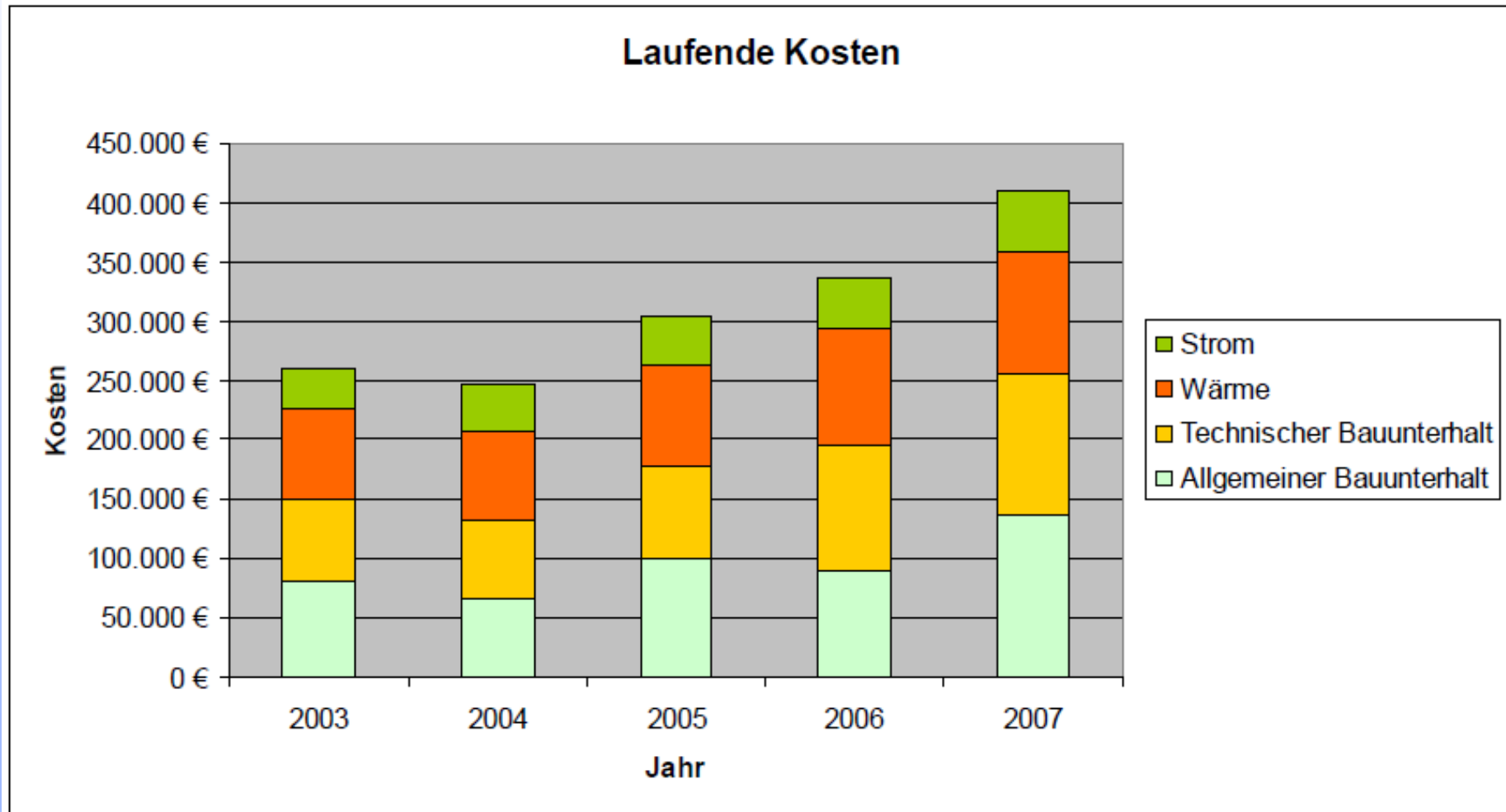
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Zoneneinteilung 3.-5. OG



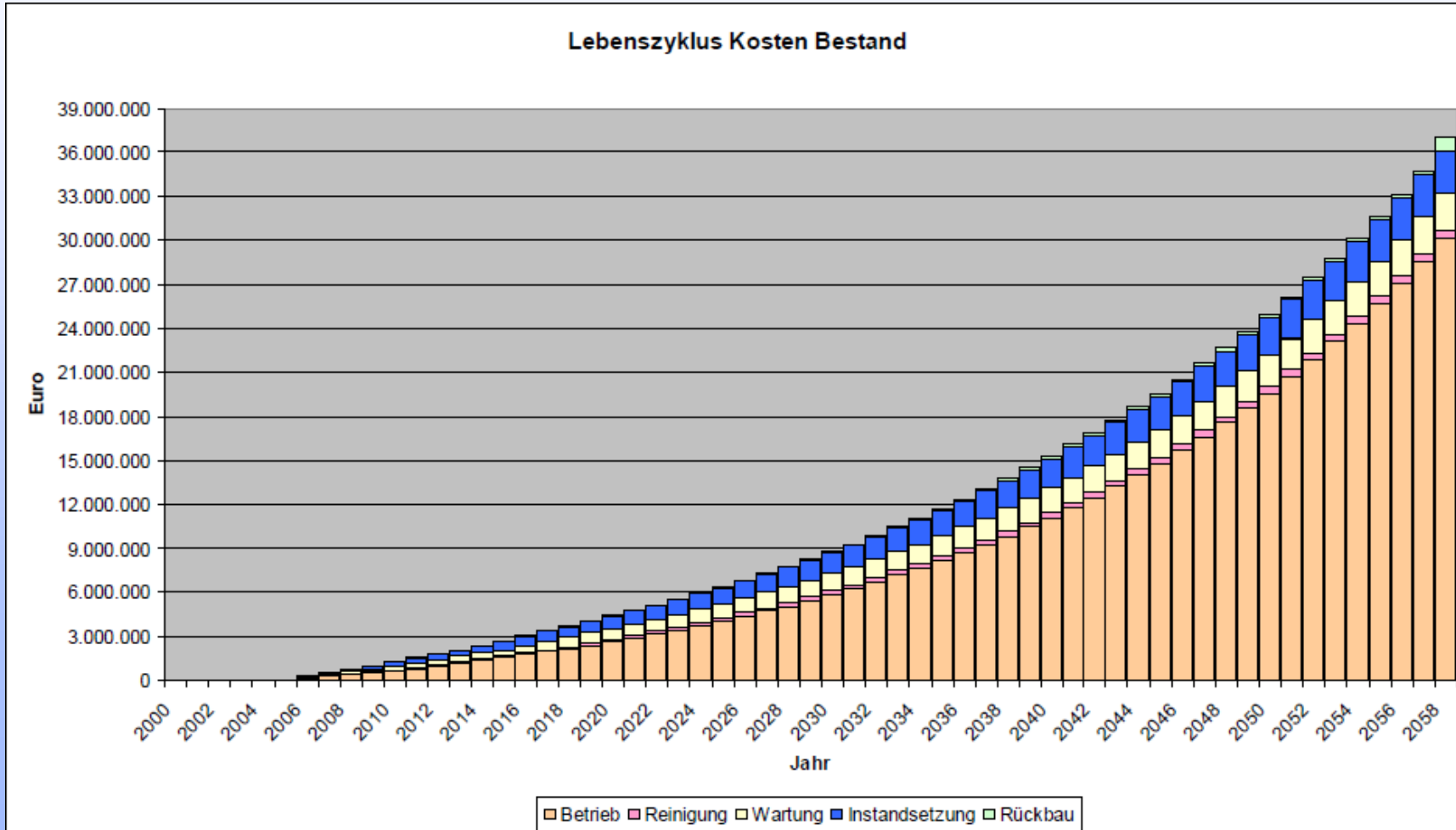
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Kostenentwicklung vor Sanierung



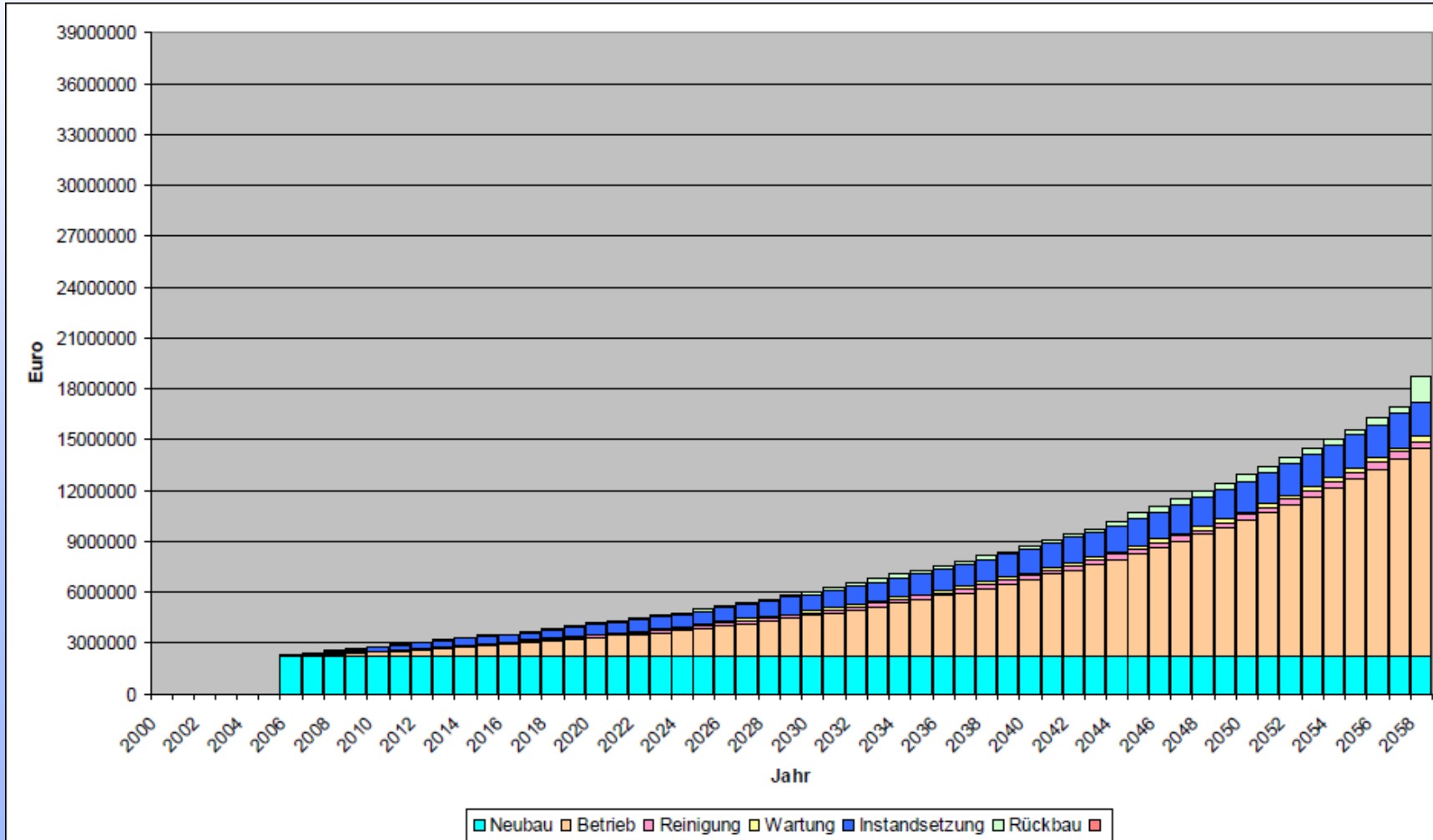
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Kumulierte Lebenszykluskosten ohne Sanierung



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Kumulierte Lebenszykluskosten mit geplanter Sanierung

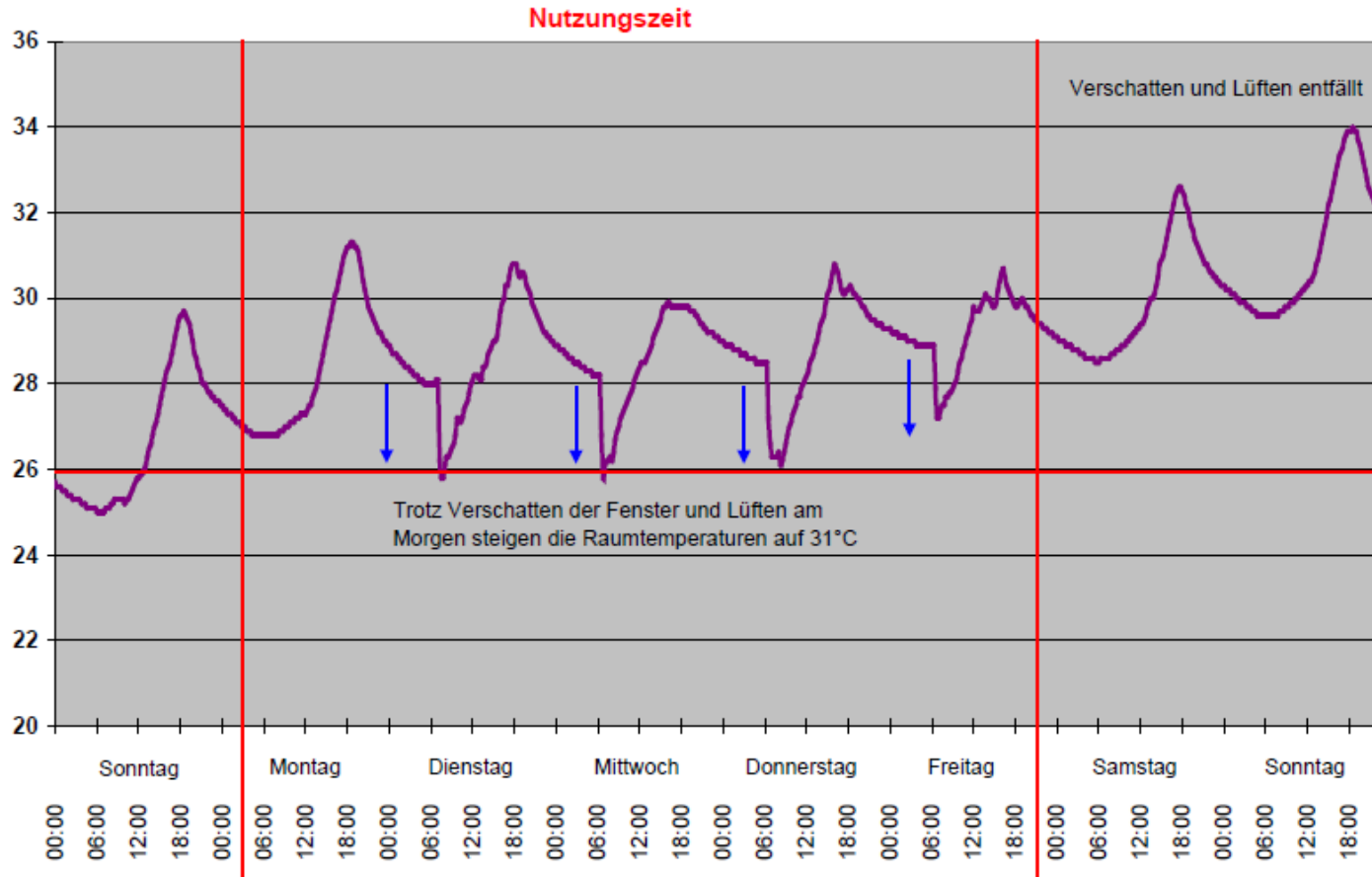


Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Komfort vor Sanierung - Messung

Innenraum-
temperatur
[°C]

Raum 5.03 (Süd-West-Fassade)
vom 10.07.2005 bis 17.07.2005



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Wandaufbau alt

Außenwand ungedämmt	Wärmeleitfähigkeit	Stärke
Gipsputz	0,500 W/mK	1,5 cm
Gasbeton	0,170 W/mK	20,0 cm
Luftschicht		2,5 cm
Sedimentsteine (Sandstein, Muschelkalk)	2,300 W/mK	5,0 cm
inkl. 20% Wärmebrückenzuschlag	U-Wert	0,76 W/m²K

Ungedämmt

Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Wandaufbau neu

Außenwand Innendämmung	Wärmeleitfähigkeit	Stärke
Gipsputz	0,350 W/mK	3,0 cm
Calzium-Silikat	0,045 W/mK	10,0 cm
Gipsputz	0,500 W/mK	2,5 cm
Gasbeton	0,170 W/mK	20,0 cm
Luftschicht		2,5 cm
Sedimentsteine (Sandstein, Muschelkalk)	2,300 W/mK	5,0 cm
inkl. 20% Wärmebrückenzuschlag	U-Wert	0,31 W/m²K

Gedämmt mit Innendämmung

Nachweise mit den Simulationsprogrammen

WuFi (**FhG-IBP**), Delphin (**Bauklimatik Dresden**) und Therm (**LBNL Berkley**).

Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Dämmkonzept

Fassaden

Innendämmung 10 cm Mineraldämmplatten, 3 cm in Leibungen (Ca-Si-Hydrate, WLG 045),

U-Wert Wand ca. 0,30 bis 0,35 W/m²K

Erneuerung der Fenster durch eine „2+1“ Holz-Aluminium-Konstruktion

U-Wert Fenster 1,0 W/m²K

mit integrierten Jalousielamellen zur Tageslichtlenkung.

Dach

Rollnaht-geschweißtes Edelstahldach, 20-26 cm Mineralfaser,

U-Wert ca. 0,15 bis 0,18 W/m²K.

Decken

Dämmstoffdicken von 10 bis 12 cm.

Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

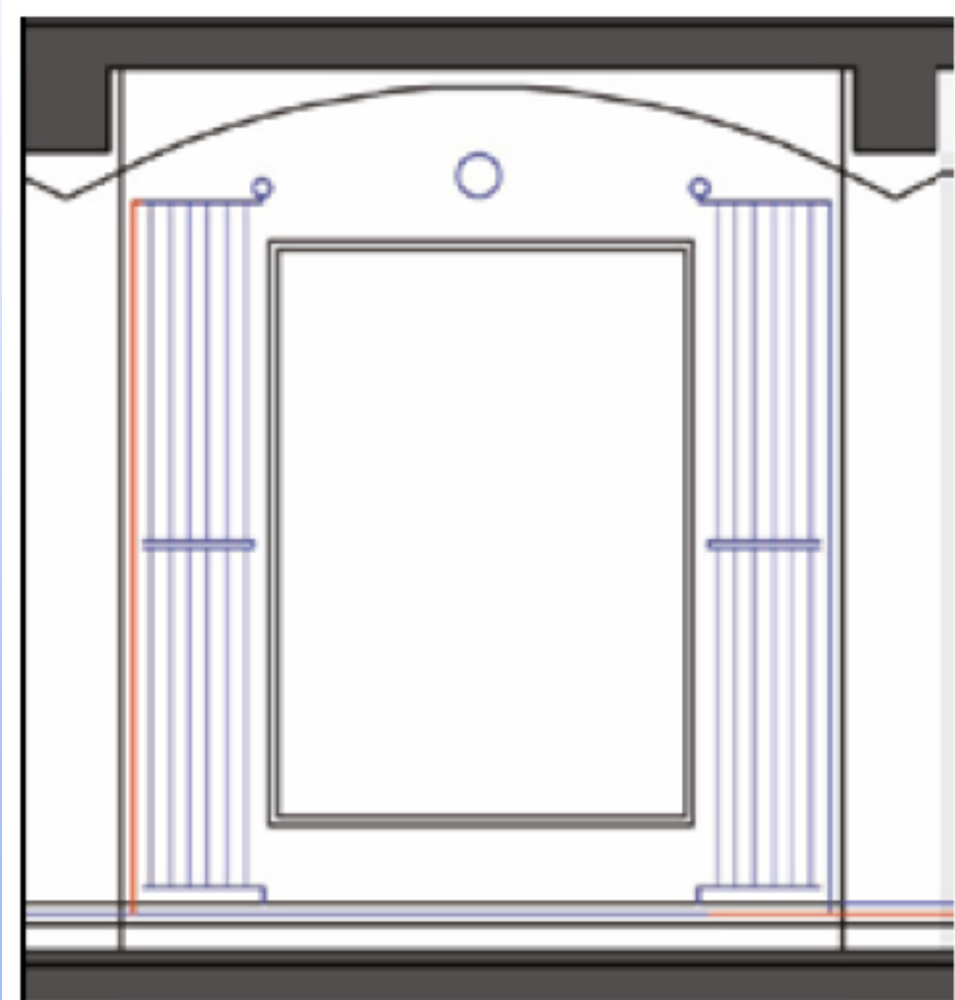
Neue Fenster und Denkmalschutz



Verbundfenster verbessern den Denkmalschutz durch Verzicht auf aufgesetzte Storenkästen.

Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

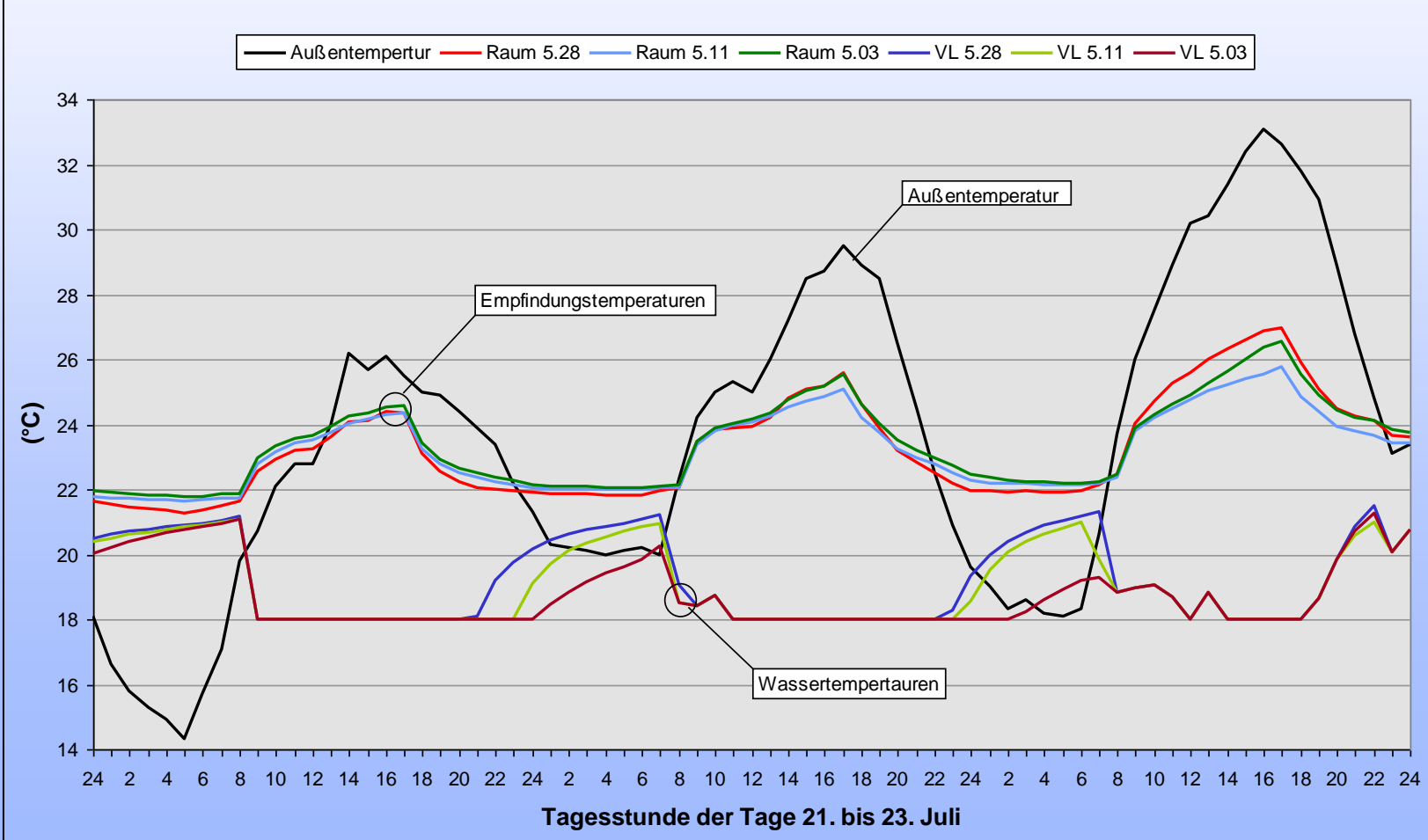
Kapillartermperierung



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Dynamische Gebäudesimulation

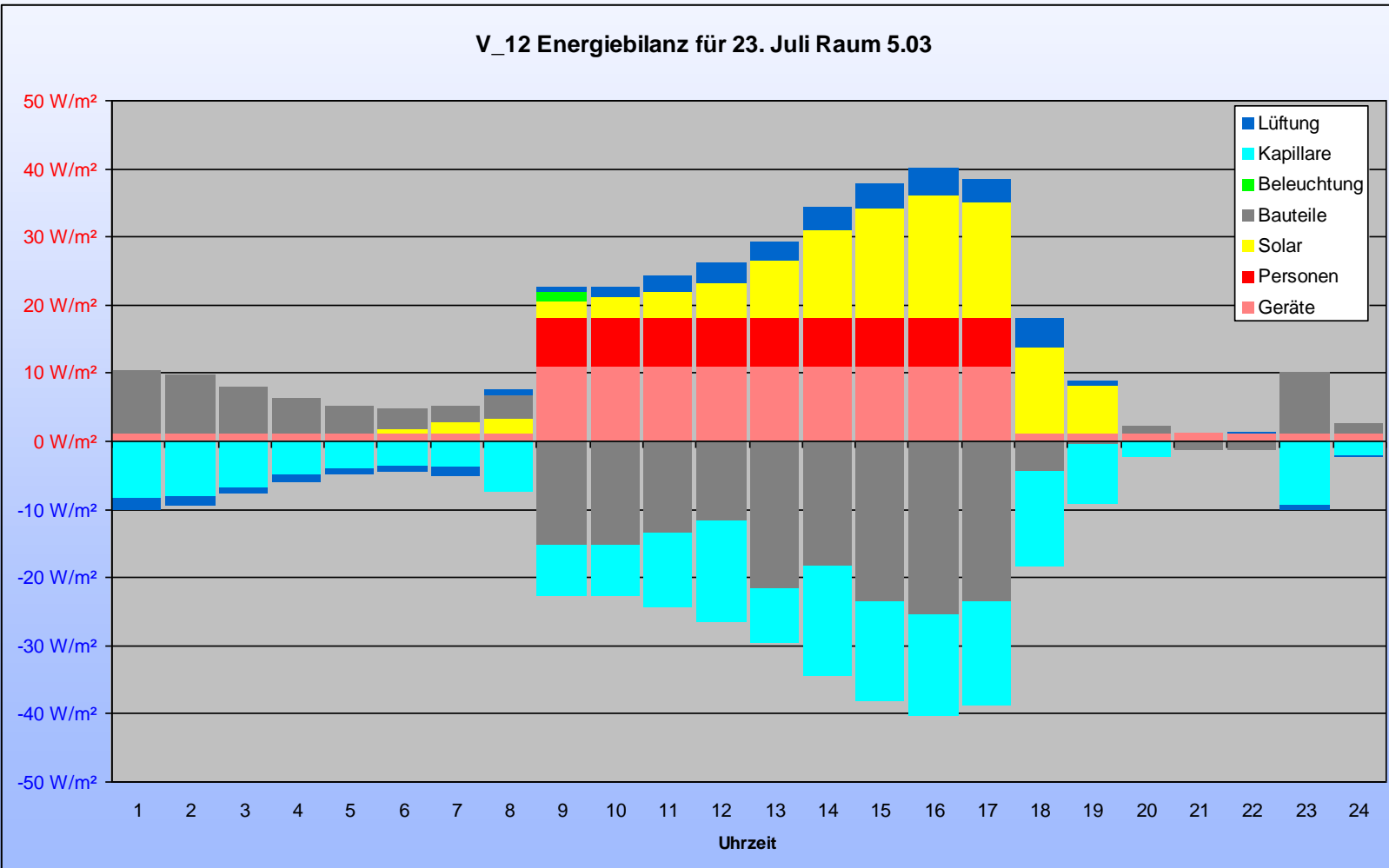
Tagesverlauf der Empfindungstemperaturen Variante V_12



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Dynamische Gebäudesimulation

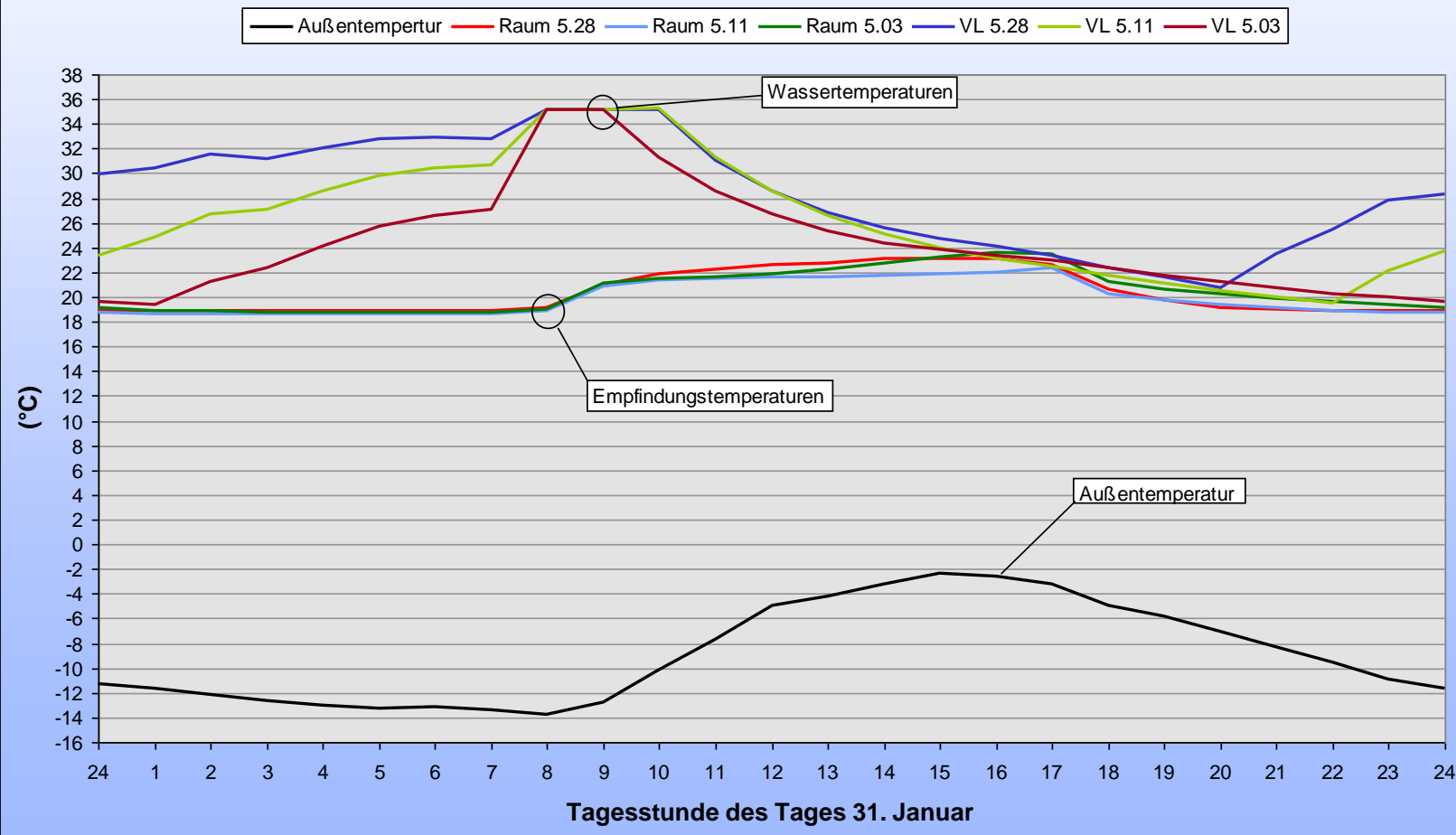
V_12 Energiebilanz für 23. Juli Raum 5.03



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

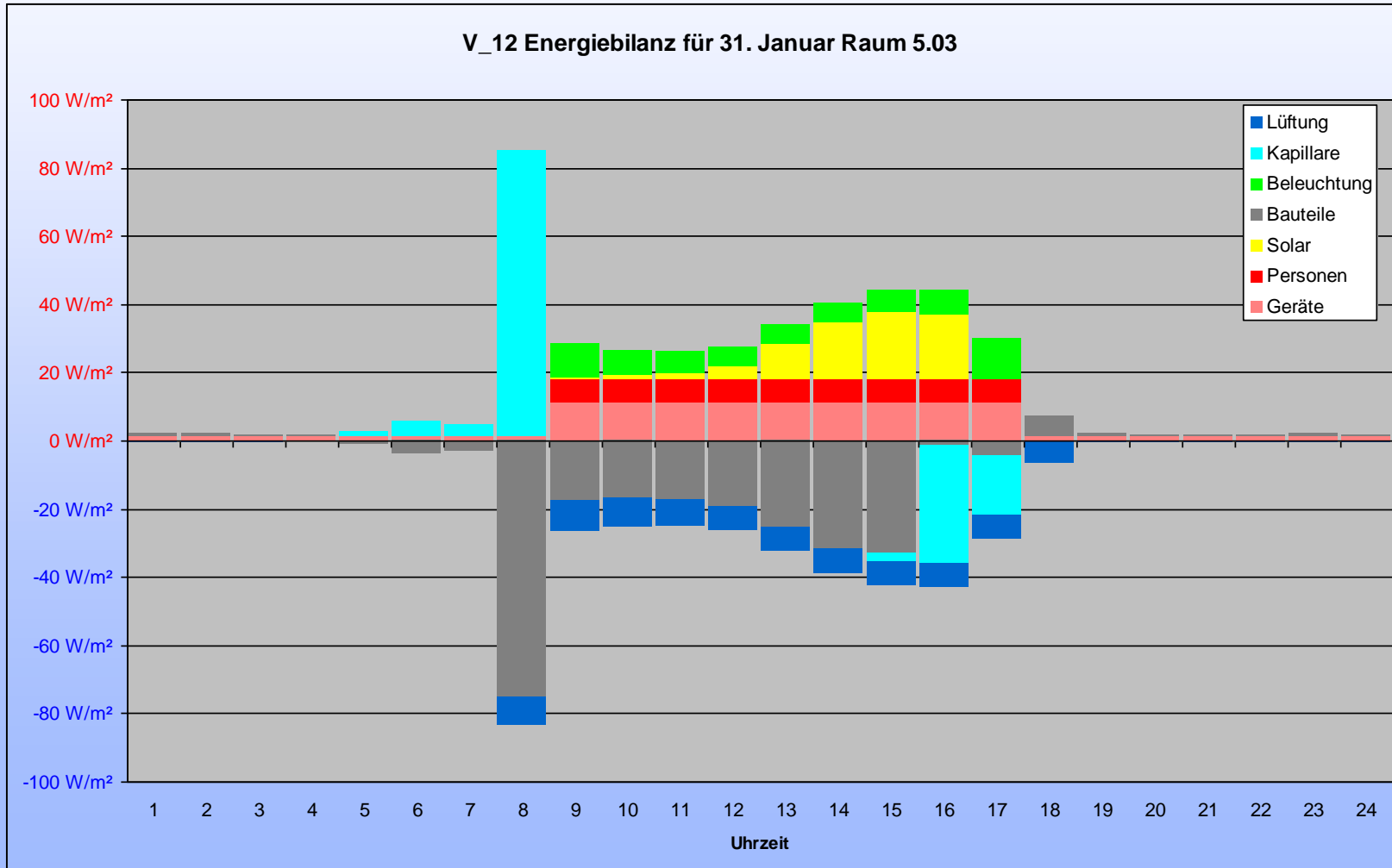
Dynamische Gebäudesimulation

Tagesverlauf der Empfindungstemperaturen Variante V_01



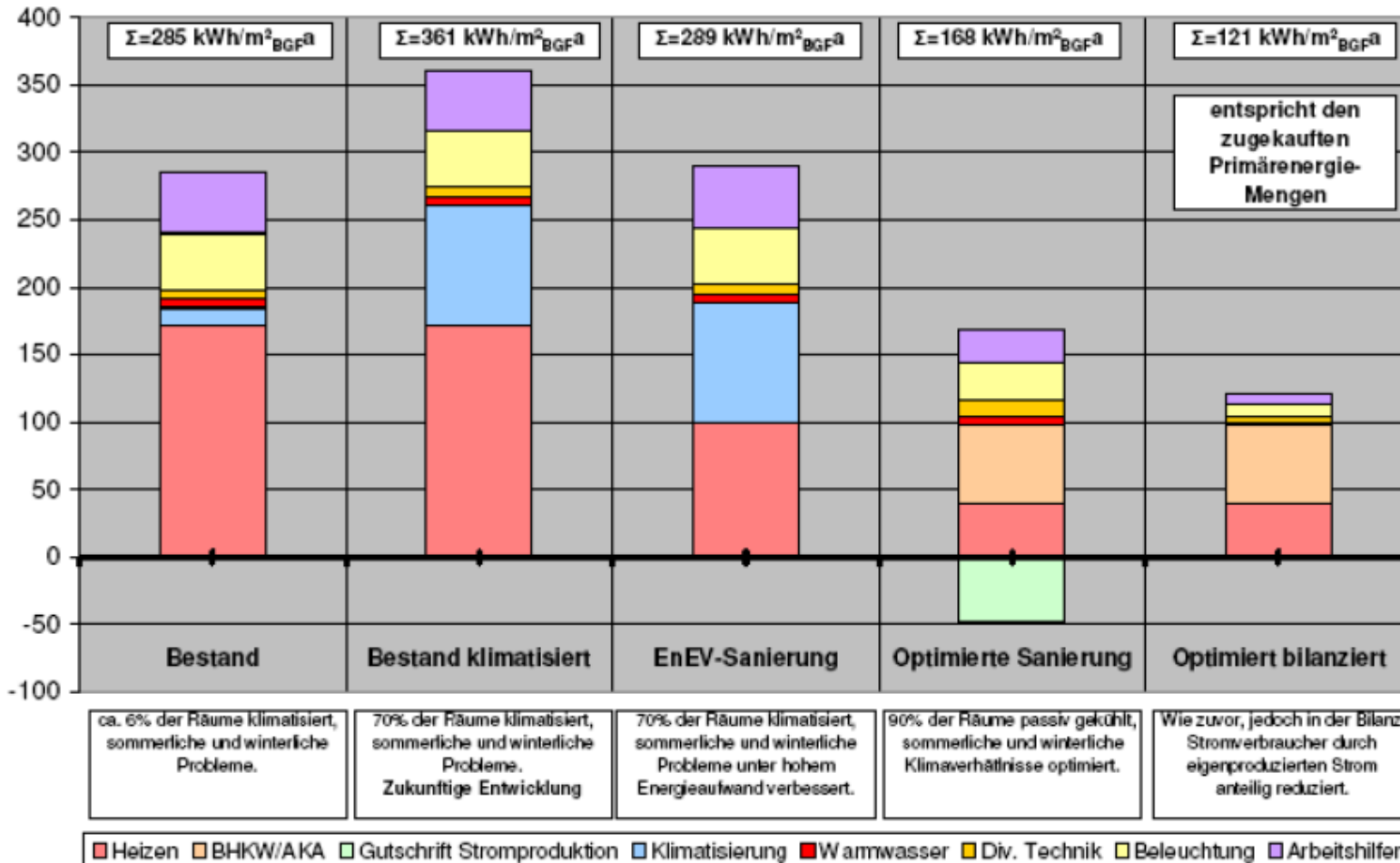
Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Dynamische Gebäudesimulation



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Primärenergiekennwert [kWh/m²BGFa]



Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Dynamische Gebäudesimulation

Heizenergie	Einheit	Gebäude	Atrium	Büros 3.OG o. Kap.	Büros 3.OG m. Kap.	Büros	Keller	Nebenräume	Ratssaal	Trausaal
Fläche	m ²	10.129	498	109	268	3.580	2.298	2.882	424	70
Januar	kWh	53.996	2.518	1.041	3.043	21.030	6.251	16.690	1.648	1.776
Februar	kWh	50.965	2.301	1.057	2.635	19.383	5.978	16.343	1.670	1.598
März	kWh	45.429	1.643	855	2.527	17.966	6.118	13.652	1.034	1.634
April	kWh	25.986	1.050	484	1.406	10.319	4.702	6.382	490	1.153
Mai	kWh	3.096	655	10	9	629	1.704	6	8	75
Juni	kWh	1.818	54	17	43	454	1.064	87	0	99
Juli	kWh	602	66	4	0	131	400	0	0	1
August	kWh	692	109	2	0	88	489	0	0	4
September	kWh	4.805	152	80	172	1.239	2.242	496	56	367
Oktober	kWh	19.780	575	397	1.033	7.123	4.537	4.844	145	1.127
November	kWh	42.752	1.645	823	2.465	16.096	5.727	13.489	1.062	1.445
Dezember	kWh	60.807	3.152	1.210	3.092	22.838	6.662	19.652	2.182	2.019
Jahr	kWh	310.727	13.921	5.981	16.425	117.295	45.873	91.640	8.293	11.298
	kWh/m ²	30,7	28,0	54,8	61,4	32,8	20,0	31,8	19,5	161,9
Maximum	kW	215,1	18,0	3,8	9,6	88,1	31,3	109,1	18,6	6,4
Tag	-	33	27	31	29	28	268	32	112	31
Stunde	-	8	8	7	23	19	2	8	17	8

Heizenergie nach Sanierung
31 kWh/m²a

Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Dynamische Gebäudesimulation

Kühlenergie	Einheit	Gebäude	Atrium	Büros 3.OG o. Kap.	Büros 3.OG m. Kap.	Büros	Keller	Nebenräume	Ratssaal	Trausaal
Fläche	m ²	10.129	498	109	268	3.580	2.298	2.882	424	70
Januar	kWh	9.765	0	0	806	8.929	0	0	5	25
Februar	kWh	8.083	0	0	594	7.371	0	0	3	115
März	kWh	9.332	0	0	823	8.093	0	0	3	413
April	kWh	9.200	0	0	980	7.584	0	0	17	620
Mai	kWh	16.767	0	0	1.328	14.496	0	0	301	642
Juni	kWh	14.848	0	0	1.198	12.849	0	0	258	542
Juli	kWh	19.622	0	0	1.486	17.106	0	0	409	621
August	kWh	21.436	0	0	1.649	18.669	0	0	475	643
September	kWh	11.628	0	0	1.022	10.080	0	0	69	457
Oktober	kWh	10.372	0	0	998	8.857	0	0	2	514
November	kWh	8.874	0	0	819	7.981	0	0	3	70
Dezember	kWh	9.600	0	0	562	9.035	0	0	1	2
Jahr	kWh	149.527	0	0	12.266	131.051	0	0	1.546	4.664
	kWh/m ²	14,8	0	0	45,8	36,6	0	0	3,6	66,8
Maximum	kW	76,8	0	0	5,5	71,8	0	0	13,5	3,8
Tag	-	191	0	0	204	191	0	0	226	167
Stunde	-	8	0	0	17	8	0	0	17	11

Kühlenergie nach Sanierung
15 kWh/m²a

Sanierung des Rathauses Aschaffenburg

Dämmung mit mineralischer kapillaroffener Dämmung, wo sinnvoll.
Maximale Dämmung von Dach und Keller.

Reduktion der Heizenergie um 75%
auf 30 kWh/m²a.

Kühlung von 0 auf 15 kWh /m²a (Lösung von Komfortproblemen).

Harmonisiert mit den Anforderungen des Denkmalschutzes.

Senkung der CO₂-Emissionen von 573 t auf 244 t CO₂ p.a.

Klimaschutz bei Bewahrung der Baukultur ist möglich.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

