

Raumkühlung messen . simulieren . regeln



DI Wolfgang Stumpf

Donau-Universität Krems
Department für Bauen und Umwelt
wolfgang.stumpf@donau-uni.ac.at
0043 699 1920 8564

Wie gut wirken passive Raumkühlungsmethoden unter Berücksichtigung der adaptiven thermischen Behaglichkeitskriterien?

Frage

Wie gut wirken passive Raumkühlungsmethoden unter Berücksichtigung der adaptiven thermischen Behaglichkeitskriterien?

Forschungsmethoden

- **Messung, Monitoring**
- **Computersimulationen**
- **Smarte prozessorgesteuerte Regelung**

Frage

Wie gut wirken passive Raumkühlungsmethoden unter Berücksichtigung der adaptiven thermischen Behaglichkeitskriterien?

Forschungsmethoden

- **Messung, Monitoring**
- **Computersimulationen**
- **Smarte prozessorgesteuerte Regelung**

Angestrebtes Ergebnis

Anwendungsorientierte Grundlagen zur Raumklimaanpassung von Bestandsgebäuden



Einleitung

Raumkühlung – messen . simulieren . regeln

Definitionen

Raumkühlung

Wärmeentzug aus Raumluft und/oder Bauteiloberflächen und Bauteilen

Raumkühlung

Wärmeentzug aus Raumluft und/oder Bauteiloberflächen und Bauteilen

Warum?

unbehagliches Raumklima

Was?

Luft, Umschließungsflächen kühlen

Wie?

passiv, aktiv

Wer?

Nutzer, Regeleinheit

Wann?

während Nutzung, prädiktiv

Aktive Raumkühlung

- mit **Kühlgeräten** (Kompressionskältemaschine) und Ventilatoren
- **motorgesteuerte Verschattungssysteme** zur Vermeidung des Wärmeeintrags
- **motorgesteuerte Bauteilöffnungen** zur Regelung des Luftaustauschs (Fenster, Türen, Lüftungsklappen)

Aktive Raumkühlung

- mit **Kühlgeräten** (Kompressionskältemaschine) und Ventilatoren
- **motorgesteuerte Verschattungssysteme** zur Vermeidung des Wärmeeintrags
- **motorgesteuerte Bauteilöffnungen** zur Regelung des Luftaustauschs (Fenster, Türen, Lüftungsklappen)

Passive Raumkühlung

- Luft durch **natürliche Ventilation** zwischen kalten und warmen Zonen tauschen (Temperatur- und/oder Wind-induziert), z.B. durch einseitige Fensterlüftung, Querlüftung, Lüftung über Gang, Stiegenhaus (Kamineffekt)
- manuelle und bauliche **Verschattung** (Reduktion des Wärmeeintrags)
- Reduktion der **internen Wärmelasten**

Raumklimaanpassung

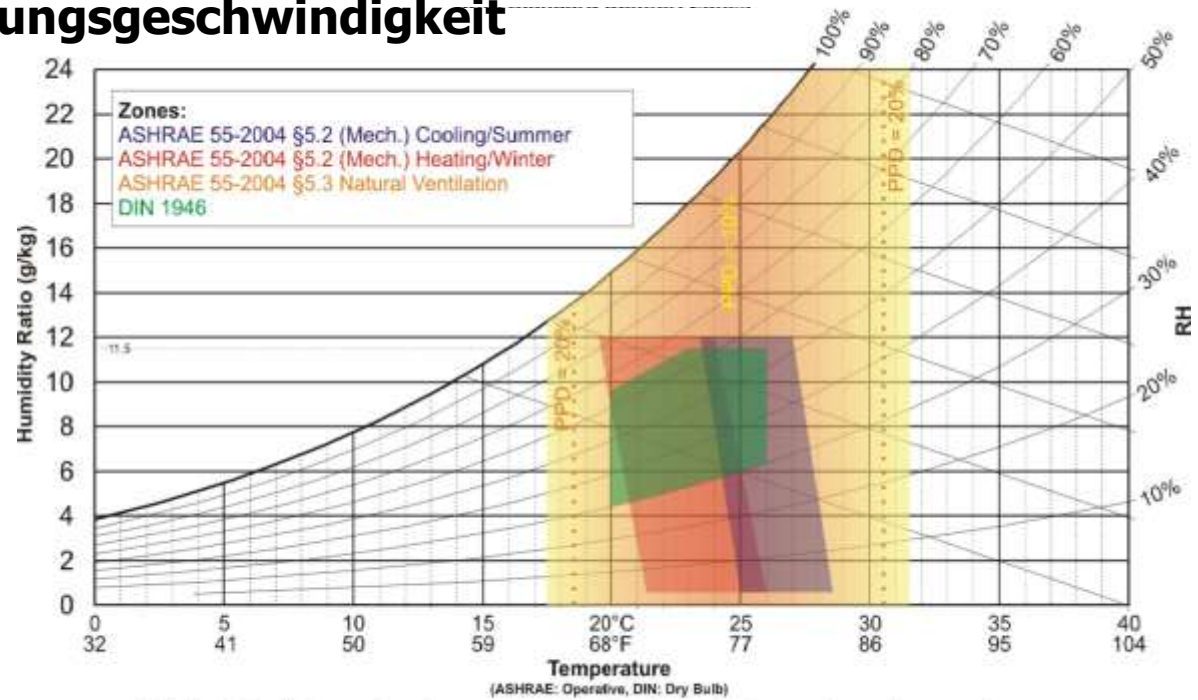
Adaptierung der Behaglichkeitskriterien zur thermisch komfortablen Raumnutzung **bei höherer operativer Temperatur** (Mittelwert Luft- und Raumboberflächen-Temperatur), vgl. EN ISO 7730 mit EN 15252

- Erhöhung der **Luftströmungsgeschwindigkeit**
- Anpassung der Kleidung
- Anpassung der Aktivität
- Anpassung der Raumnutzungszeiten

Raumklimaanpassung

Adaptierung der Behaglichkeitskriterien zur thermisch komfortablen Raumnutzung **bei höherer operativer Temperatur** (Mittelwert Luft- und Raumboflächen-Temperatur), vgl. EN ISO 7730 mit EN 15252

- Erhöhung der **Luftströmungsgeschwindigkeit**
- Anpassung der Kleidung
- Anpassung der Aktivität
- Anpassung der Raumnutzungszeiten



NOTE: Natural Ventilation zone depends on mean monthly outdoor temperature. Zone, as shown, only represents potentially acceptable temperature ranges for comparison to the traditional standards of mechanically-ventilated zones. Darker area in this zone shows temperatures with wider range of outdoor temperatures (yellow extremes only acceptable near 10°C or 33°C outdoors). Read §5.3 before applying!

Messen

- **Geometrieaufnahme** (3D Laser-Scan)
- Momentaufnahmen:
 - **Fotos**
 - **Thermografie** (Foto, Video)
 - **Temperatur-, Feuchte-, Luftgeschwindigkeitsmessung**
 - **Befragungen** (subjektives Behaglichkeitsempfinden)
- **Monitoring**: Messungen über einen längeren Zeitraum und Speicherung der Daten zur Erstellung von Datenprofilen

Simulieren

- **computergestützte Berechnungen**

Regeln

- **manuell** (erfahrungsbasiert durch Nutzer)
- **automatisiert** (prozessorgeregelte Motoren)

Beispiele

Saudi Arabien . Indonesien . Österreich

Raumkühlung – messen . simulieren . regeln in Saudi Arabien . Indonesien . Österreich



Traditionelles **Wohnhaus** in Jeddah, **Saudi Arabien** (simulieren)



Kunstgalerie in Yogyakarta, **Indonesien** (messen, simulieren, regeln)



Bürraum in Krems, **Österreich** (messen, simulieren, regeln)

Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

messen . simulieren

Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Recherche: Begehung der Umgebung



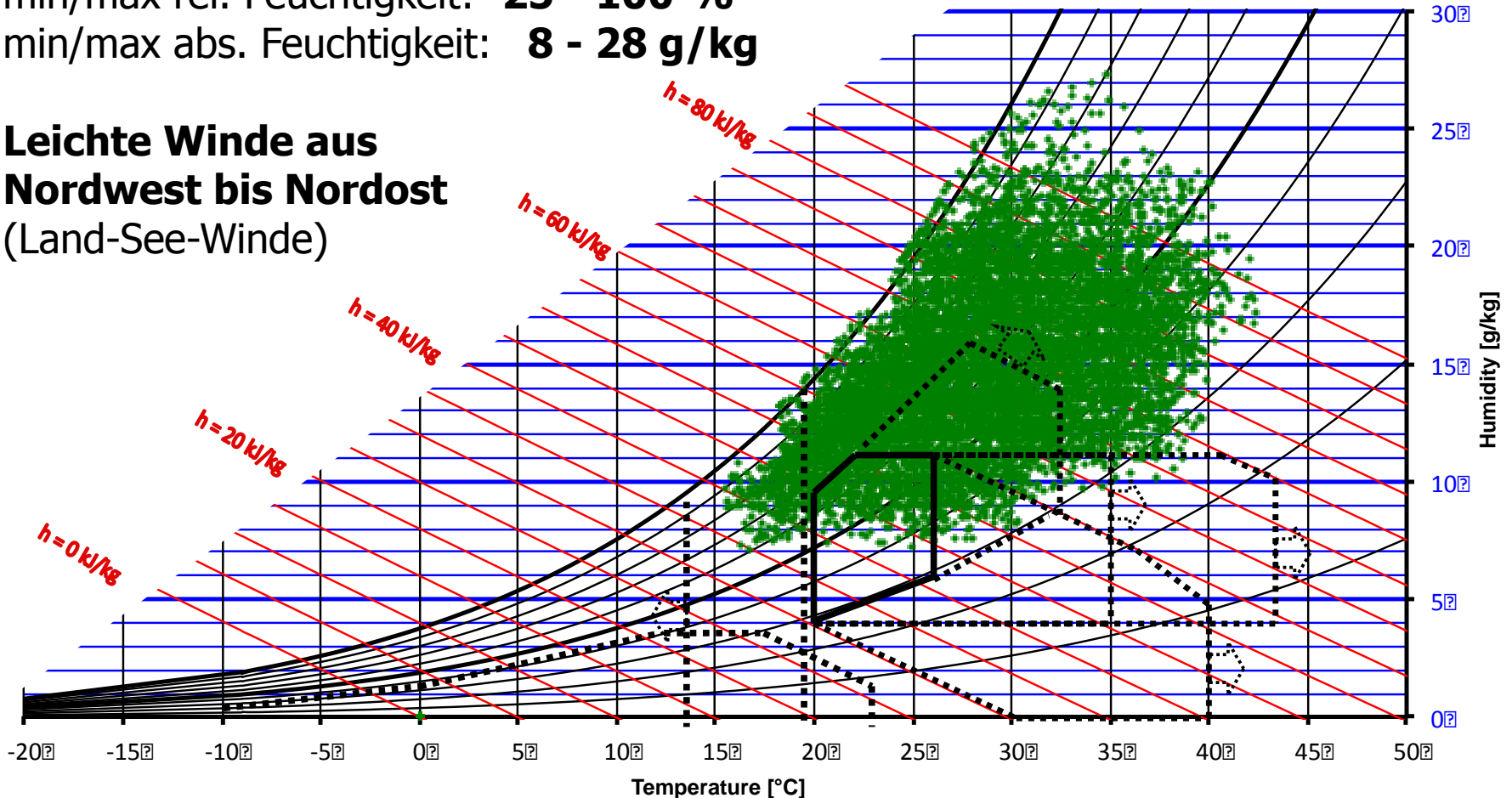
Al Balad, historische Altstadt von Jeddah, an der Küste des Roten Meeres in Saudi Arabien (Quelle: TU Wien, 2011)

Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Recherche: Klimadatensatz

min/max Temperatur: **15 - 43 °C**
 min/max rel. Feuchtigkeit: **25 - 100 %**
 min/max abs. Feuchtigkeit: **8 - 28 g/kg**

Leichte Winde aus Nordwest bis Nordost
 (Land-See-Winde)



Quelle: Gregor Radinger, Donau-Universität Krems

Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Dissertation an der TU Wien, Forschungsprojekt TRABASA

Frage

Wie konnte bei feuchtheißem Außenklima-Bedingungen ausschließlich durch passive Raumkühlung ein behagliches Innenklima erzeugt werden?

Ausgangssituation

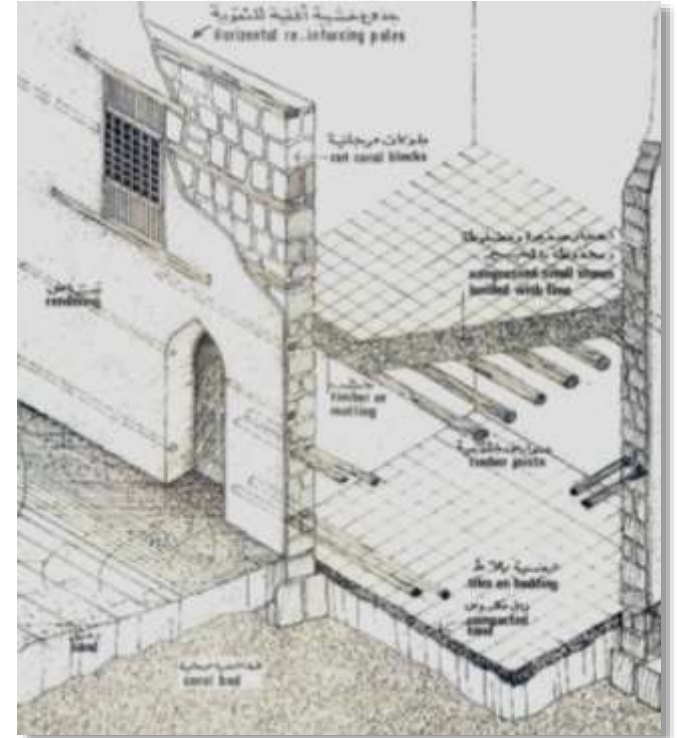
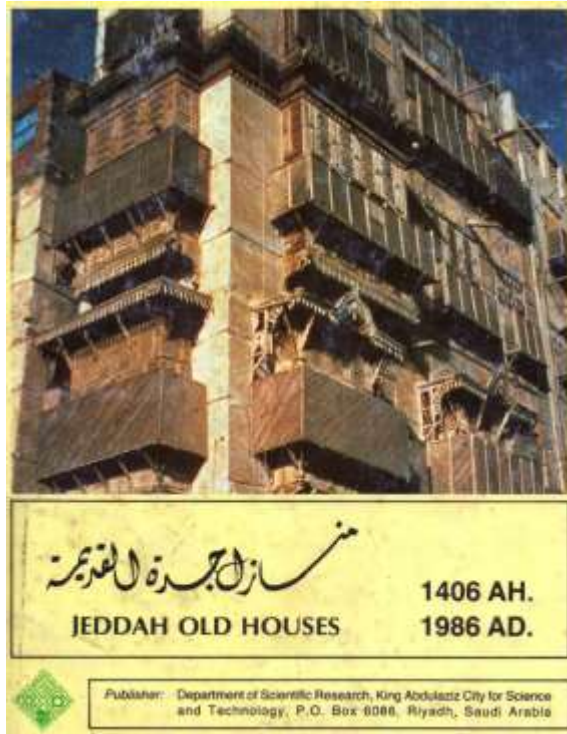
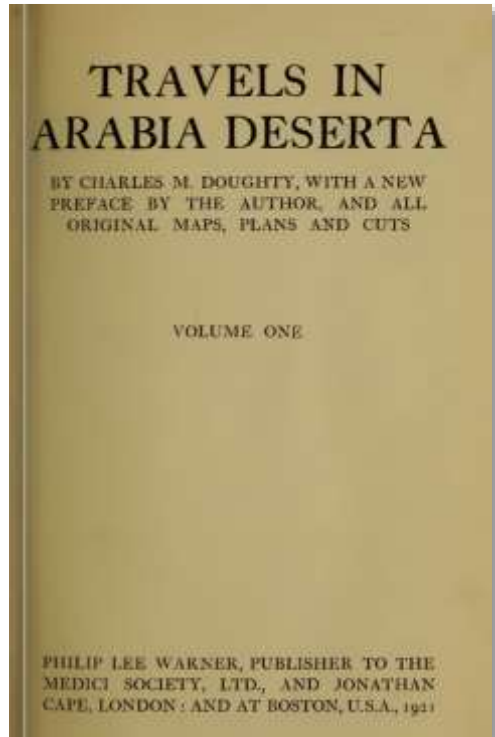
- Untersuchung am Beispiel **Al Nawar House**, über 300 Jahre alt
- **Baugeschichte** und **Nutzung** aus Literatur und Interview mit dem Besitzer
- **Baustoffe**: Korallenstein (Konstruktion), Palmenholz (Deckenbalken) und Holz (für Fensterkästen, von Pilgern aus Südasien mitgebracht)
- klimatische und bauphysikalische Untersuchungen vor Ort nicht möglich

Methoden

- **Bauaufnahme** durch TU Wien und King Abdul Aziz University im Jahr 2011
- **Computersimulationen** zur Ermittlung der Lüftungs- und Verschattungszeiten zur Schaffung eines akzeptablen Raumklimas

Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Recherche: Baugeschichte, Baukonstruktion



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Messen: 3D Laser Scan, 2D Pläne



Baufaufnahme der TU Wien im Oktober 2011: **2D Pläne** aus **3D Laser Scan**, **Bauschadensdokumentation** (Fotos und Pläne), **Baugeschichte**

Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Gebäudemodell (TU Wien)



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

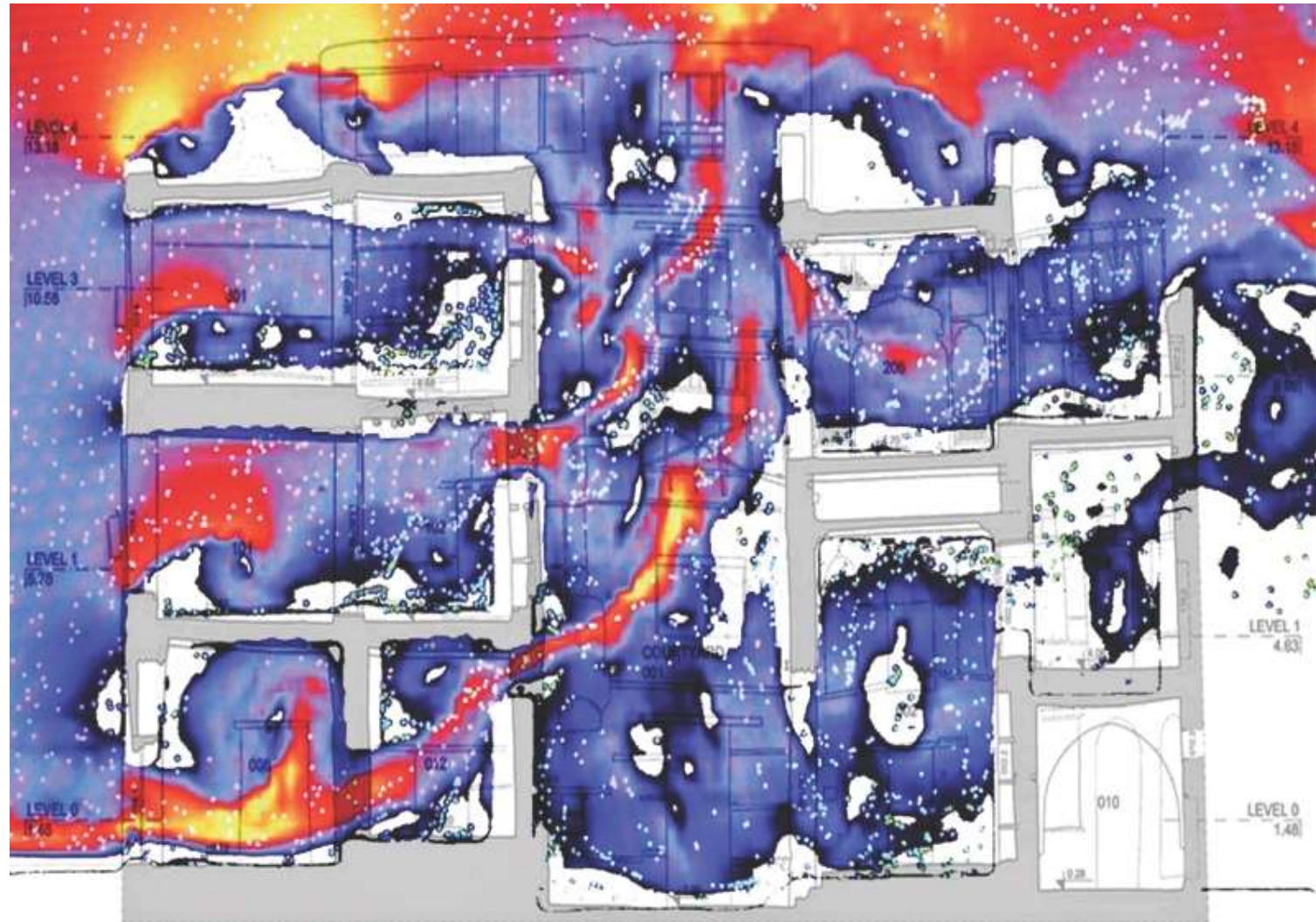
Simulieren: Solareinträge auf Dach und Fassade

- Simulation am Modell im **Tageslichtlabor** der Donau-Universität Krems (links)
- grafische **Sonnenstandsanalyse** (A. Hagen, K. Langer, C. Staudinger, Entwurfsübung an der TU Wien, 2013)



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Simulieren: CFD Luftströmungsanalyse



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Messen: Analyse von Baustoffproben

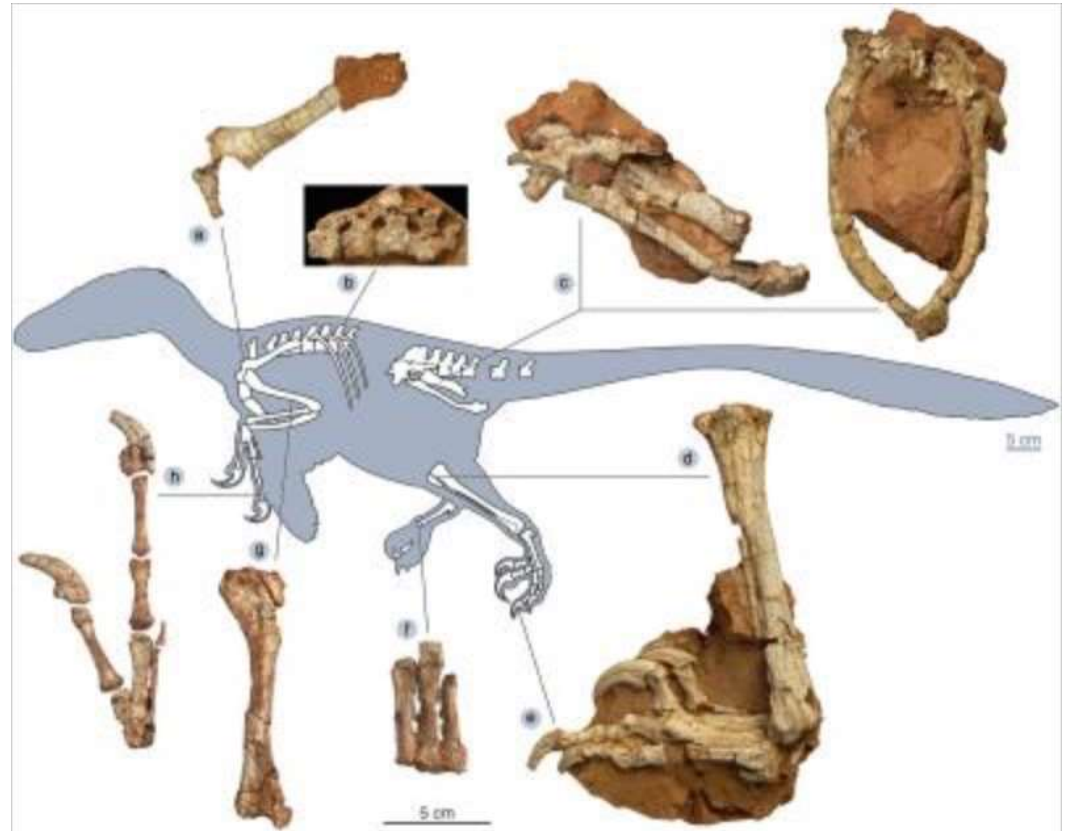
Korallenstein, teilweise verputzt: 15 x 15 x 15 cm, aus der Außenwand



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Messen: Analyse von Baustoffproben

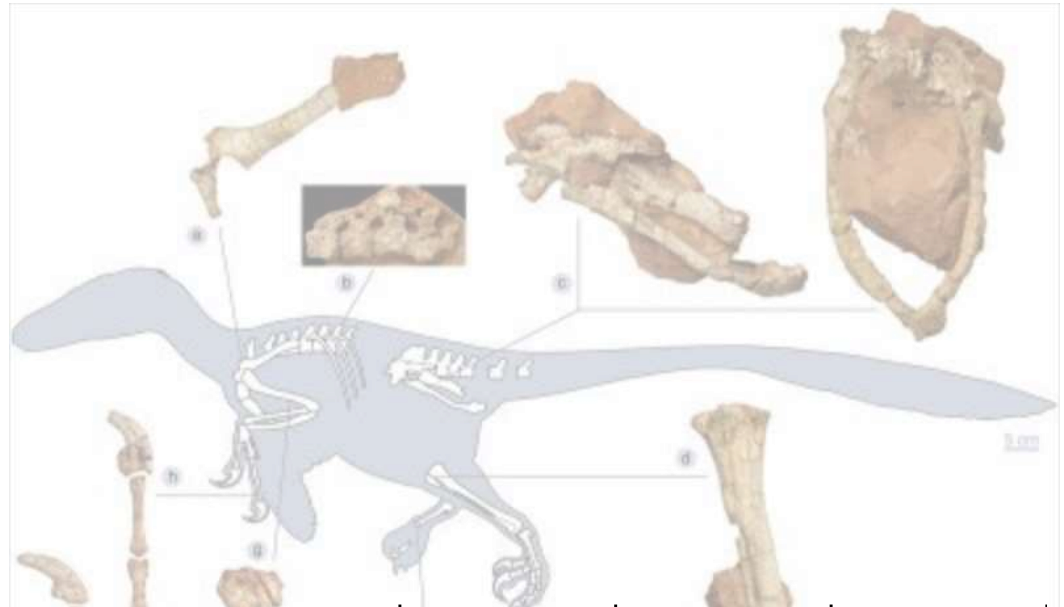
Korallenstein, teilweise verputzt: 15 x 15 x 15 cm, aus der Außenwand



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Messen: Analyse von Baustoffproben

Korallenstein, teilweise verputzt: 15 x 15 x 15 cm, aus der Außenwand



properties (based on literature and laboratory analysis)			coral block	lime plaster	old wood
bulk density	ρ	kg/m ³	980	1600	740
specific heat capacity (dry)	c	J/kgK	840	850	1500
thermal conductivity	λ	W/mK	0,45	0,70	0,18
porosity	Φ	% _{vol}	40	30	-
water vapor permeability	μ	-	7	7	223
sorption at 20 % r.h.	w(20)	kg/m ³	8	8	30
sorption at 80 % r.h.	w(80)	kg/m ³	30	30	104

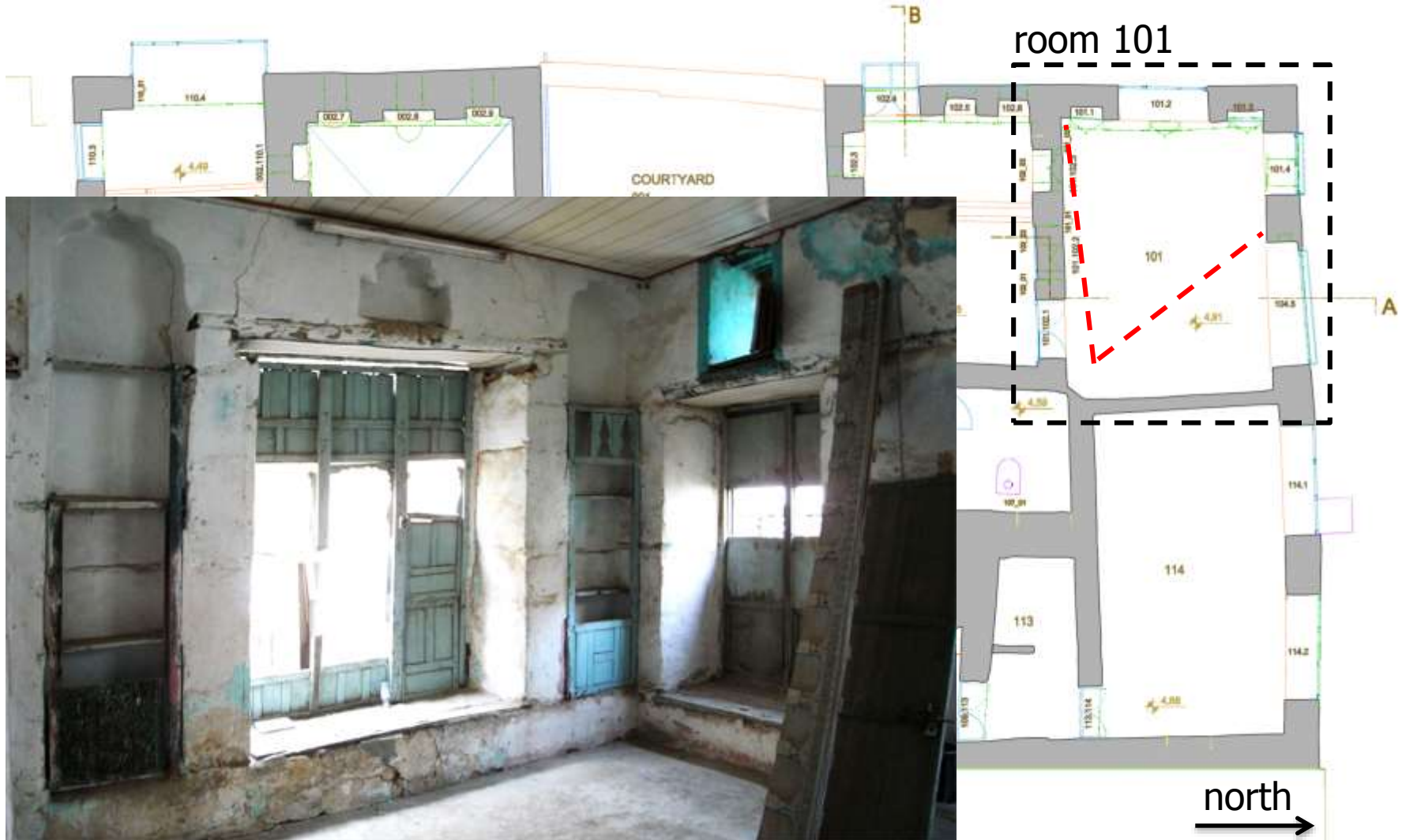
Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Messen: Al Nawar House, Grundriss 1. Obergeschoß



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Messen: Al Nawar House, room 101, Zustand 2011



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Simulieren: Recherche der Randbedingungen

7:00 bis 13:00:

2 Personen im Raum

Läden teilweise geschlossen
(Frischluftbedarf)

13:00 bis 7:00:

wenn $(T_i - T_e) > 1$ Kelvin

dann Läden offen $n = 3,0 \text{ h}^{-1}$

sonst Läden geschlossen $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$

n ... Luftwechselrate [h^{-1}]



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Simulieren: Luft- und Oberflächentemperaturen?

Veränderung der Raumwärme = Wärmetransport in und aus dem Raum

$$\begin{aligned}
 & (c_{wall} \cdot A_{wall} + c_{wood} \cdot A_{wood} + c_{air} \cdot V \cdot \rho) \cdot \frac{\Delta T_i}{\delta t} \\
 & = (c_{air} \cdot n \cdot V \cdot \rho + U_{win} \cdot A_{win}) \cdot (T_e(t) - T_i(t))
 \end{aligned}$$

c ... spezifische Wärmespeicherkapazität der Wandkonstruktion, Holz (Fensterläden) und Luft [kJ/m²K]
 berechnet nach IEA Annex 41: Whole Building Heat, Air, Moisture Response

A ... Oberfläche [m²]

V ... Raumvolumen [m³]

ρ ... Dichte [kg/m³]

T ... Lufttemperatur [K]

n ... Luftwechselrate [h⁻¹]

U ... Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]

t ... Zeit [s]

Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Simulieren: Luft- und Oberflächentemperaturen?

Veränderung der Raumfeuchte = Feuchtetransport in und aus dem Raum

$$C_{hyg} \cdot \frac{\Delta u_i}{\delta t} = n \cdot V \cdot (u_e(t) - u_i(t))$$

C_{hyg} ...spezifische effektive Feuchtespeicherkapazität der Wandkonstruktion, Holz (Fensterläden)
[kg/m²/(kg/m³)] berechnet nach IEA Annex 41: Whole Building Heat, Air, Moisture Response

u ... absolute Luftfeuchte [kg/m³]

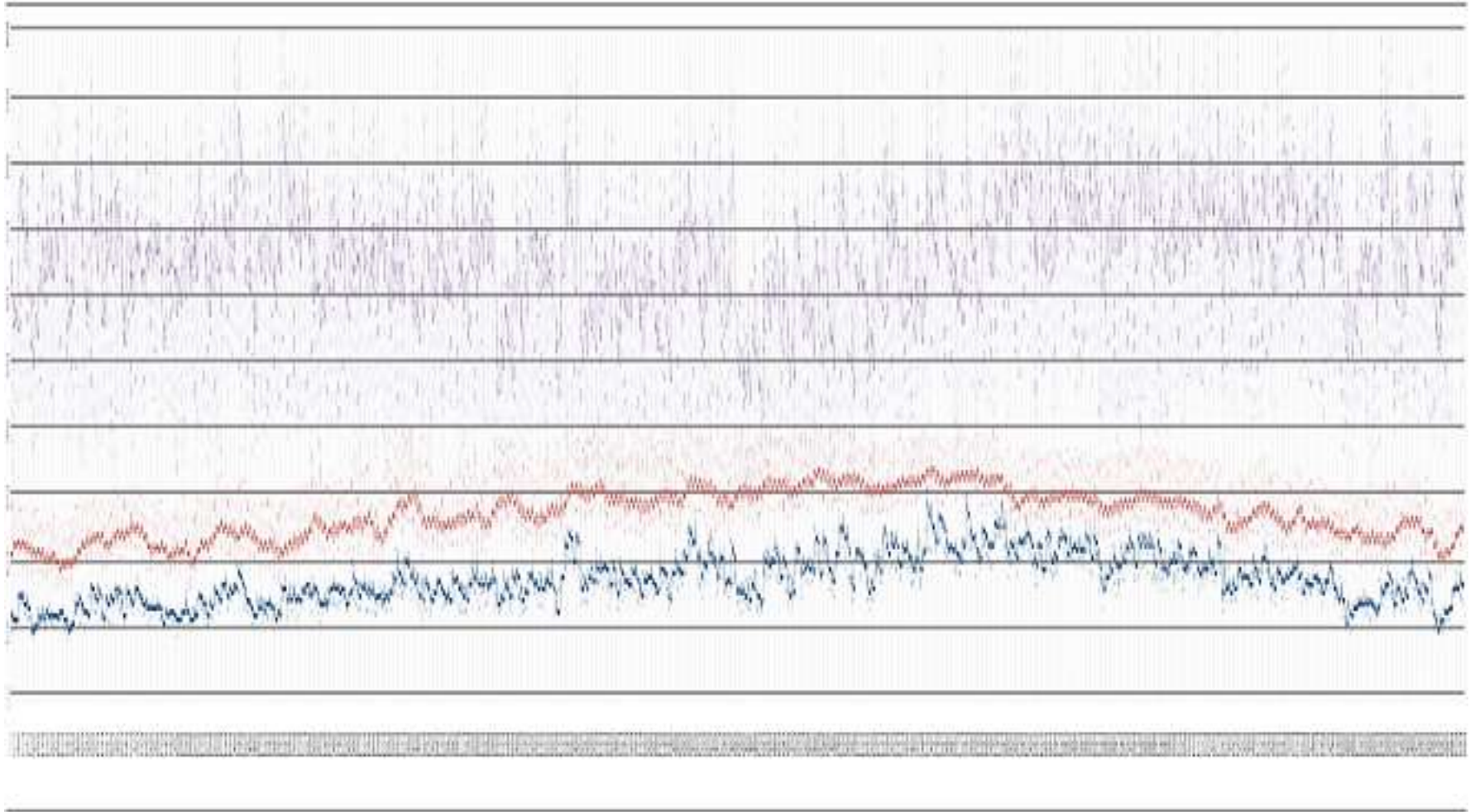
t ... Zeit [s]

n ... Luftwechselrate [h⁻¹]

V ... Raumvolumen [m³]

Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Simulieren: Jahresverlauf Temperatur, rel. und abs. Feuchte

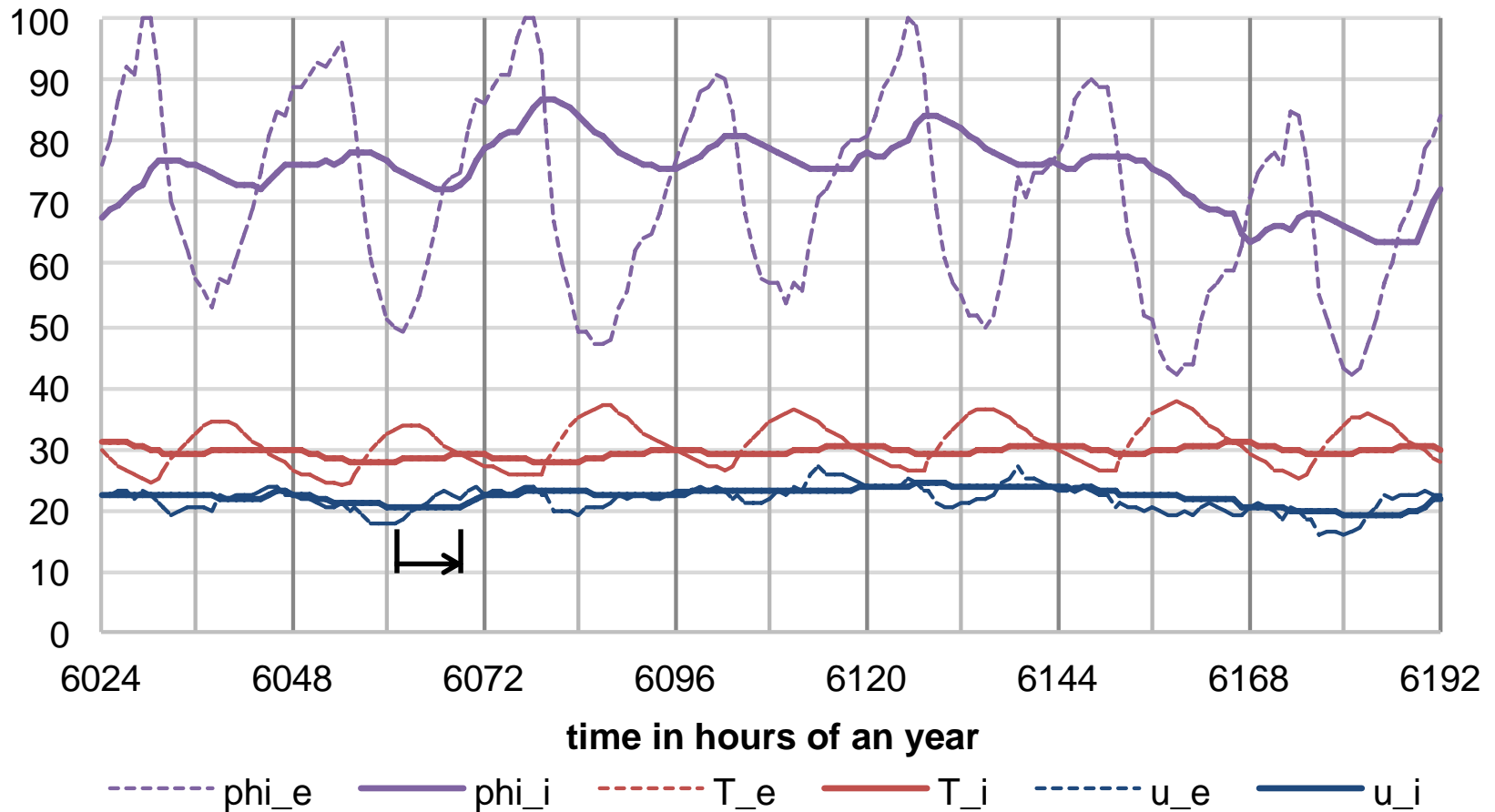


Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Simulieren: 2 Personen zeitweise im Raum 101, 8.-15. Sept.

$T_i = 29,4^\circ\text{C}$ $\phi_i = 75\%$ $u_i = 22\text{g/kg}$

bei Luftwechsel 7:00-13:00 $n = 0,3\text{ h}^{-1}$, 13:00-7:00 wenn $(T_i - T_e) > 1\text{K}$ dann $n = 3,0\text{ h}^{-1}$ sonst $n = 0,2\text{ h}^{-1}$

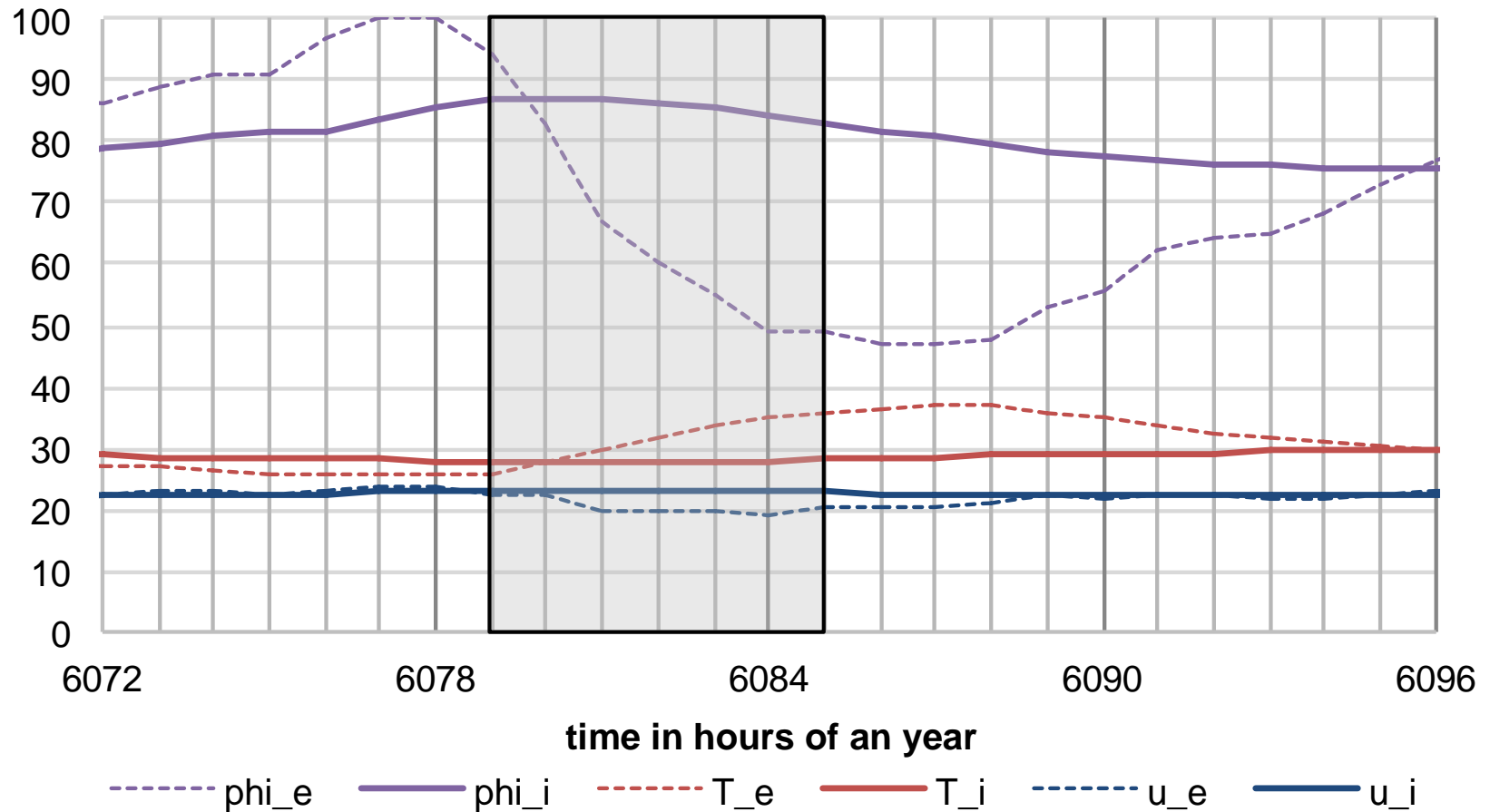


Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Simulieren: 2 Personen zeitweise im Raum 101, 10. Sept.

$T_i = 27,8^\circ\text{C}$ $\phi_i = 86\%$ $u_i = 23,1\text{g/kg}$ $v = 0,4\text{m/s}$

bei Luftwechsel 7:00-13:00 $n = 0,3\text{ h}^{-1}$, 13:00-7:00 wenn $(T_i - T_e) > 1\text{K}$ dann $n = 3,0\text{ h}^{-1}$ sonst $n = 0,2\text{ h}^{-1}$



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Simulieren: 2 Personen zeitweise im Raum 101, 10. Sept.

$T_i = 27,8^\circ\text{C}$ $\phi_i = 86\%$ $u_i = 23,1\text{g/kg}$ $v = 0,4\text{m/s}$

bei Luftwechsel 7:00-13:00 $n = 0,3\text{ h}^{-1}$, 13:00-7:00 wenn $(T_i - T_e) > 1\text{K}$ dann $n = 3,0\text{ h}^{-1}$ sonst $n = 0,2\text{ h}^{-1}$

Select method: PMV method

Air temperature: 27,8 °C Use operative temperature

Mean radiant temperature: 30 °C

Air speed: 1,0 m/s Local air speed control

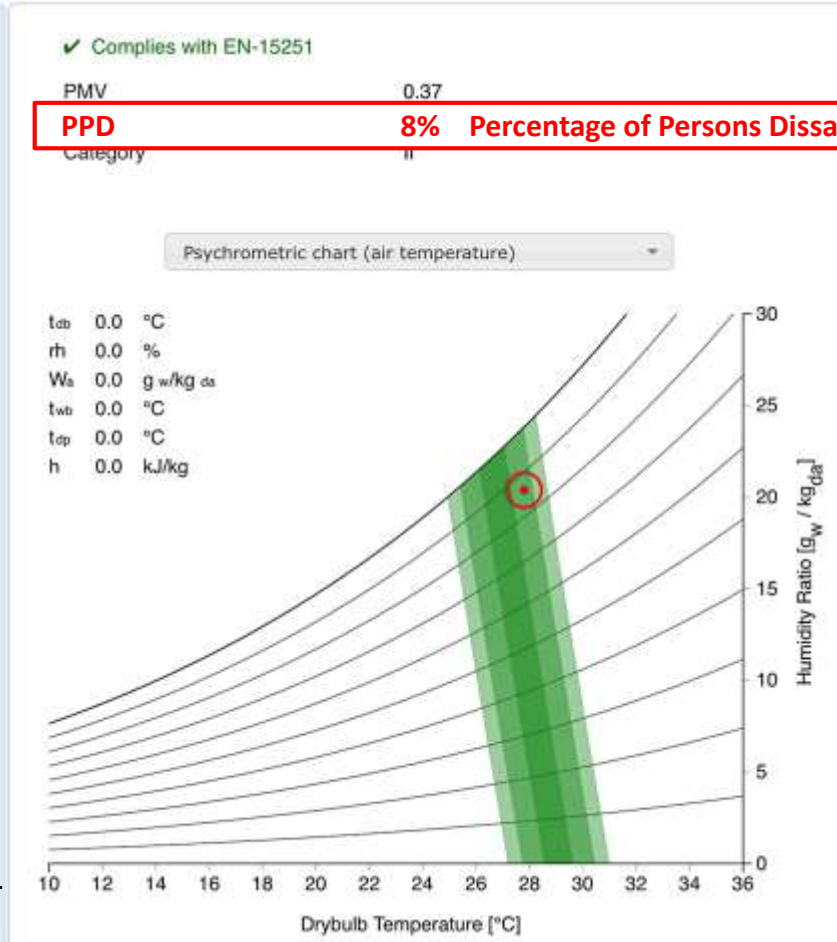
Humidity: 86 % Relative humidity

Metabolic rate: 1 met Seated, quiet: 1.0

Clothing level: 0.5 clo Typical summer indoor

Create custom ensemble

Globe temp Specify pressure Set defaults SI IP Local discomfort ? Help



Thermal Comfort acc. EN 15251
<http://comfort.cbe.berkeley.edu/EN>

Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Simulieren: Hygrothermische Bauteilsimulation mit WUFI pro

außen

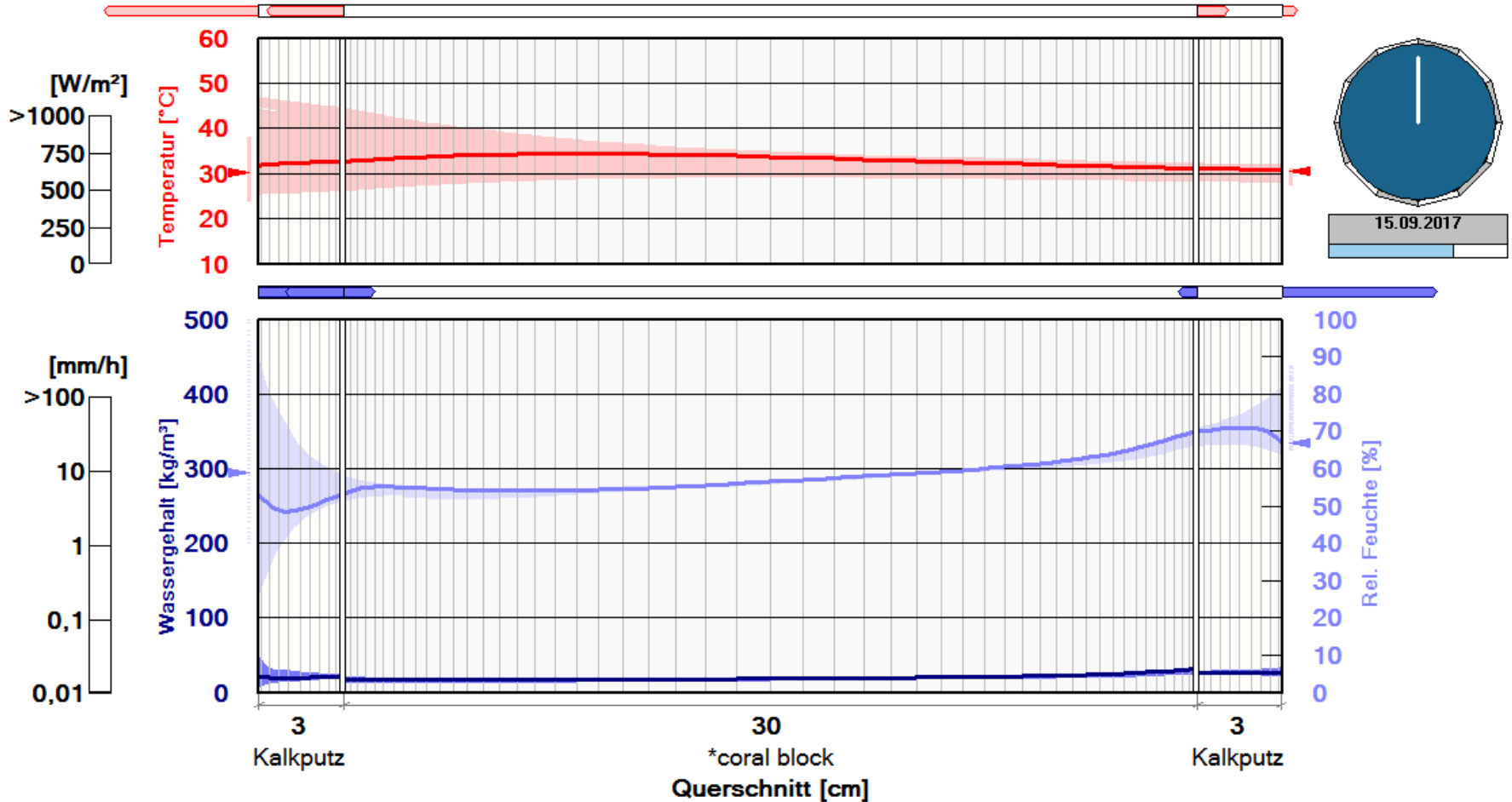
(Messwerte aus Klimadatensatz)

8.-15. September

coral block 36

innen

(berechnet)



Traditionelles Wohnhaus in Jeddah, Saudi Arabien

Ergebnis



Methode und Rechenmodell zur Rekonstruktion von Nutzungsszenarien auf Basis von Raumkomfortmodellen

Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

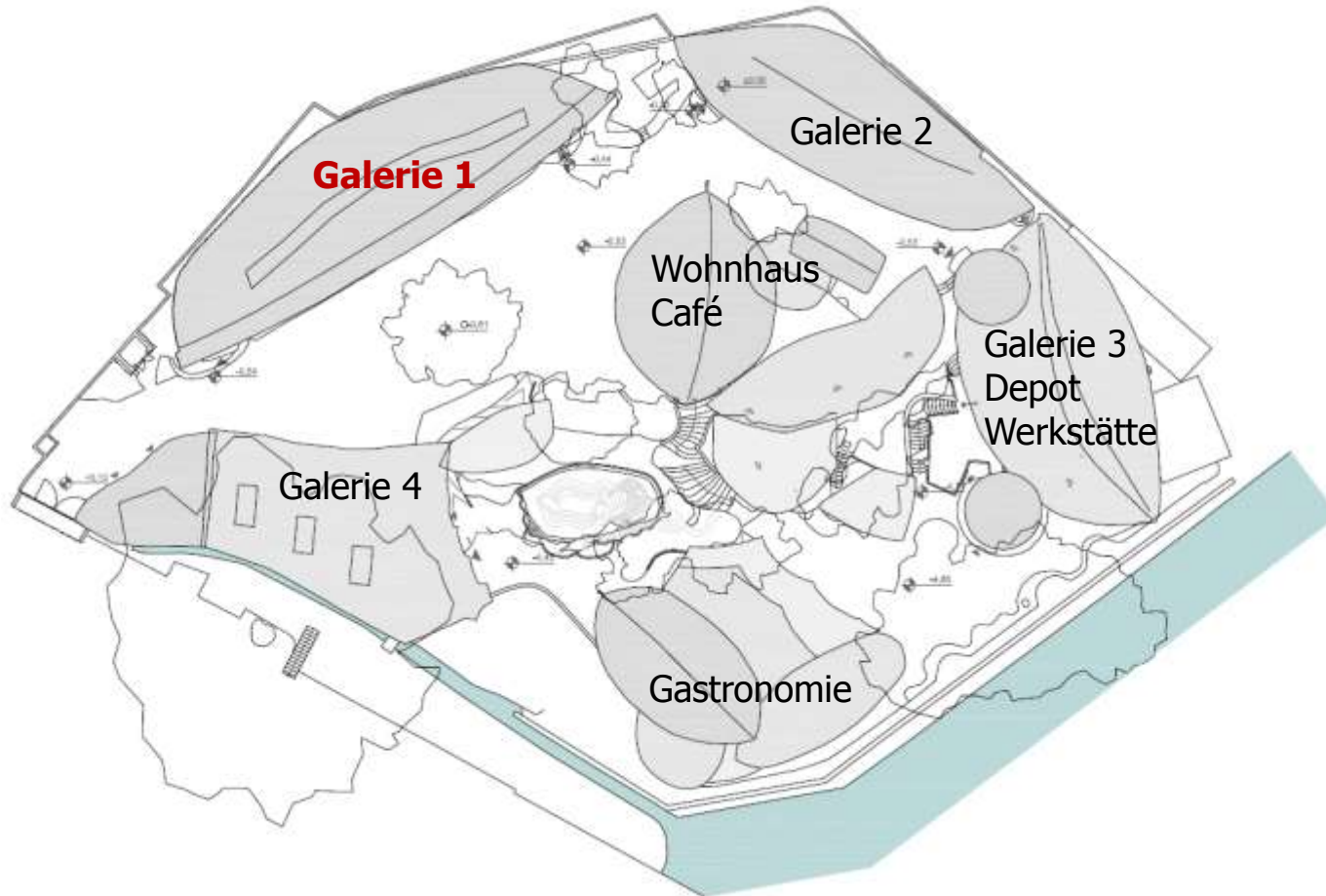
messen . simulieren . Regeln

Die Forschungsergebnisse dieses Vortrages wurden vom ASEAN-European Academic University Network (ASEA-UNINET), Österreichischen Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung und der Austrian Agency for International Cooperation in Education and Research (OeAD-GmbH) unterstützt.

Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Affandi Museum, Lageplan

MUSEUM AFFANDI
OVERVIEW 1_353



Quelle: TU Wien, 2015

Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Affandi Museum



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Affandi Museum: Wohnhaus, Café



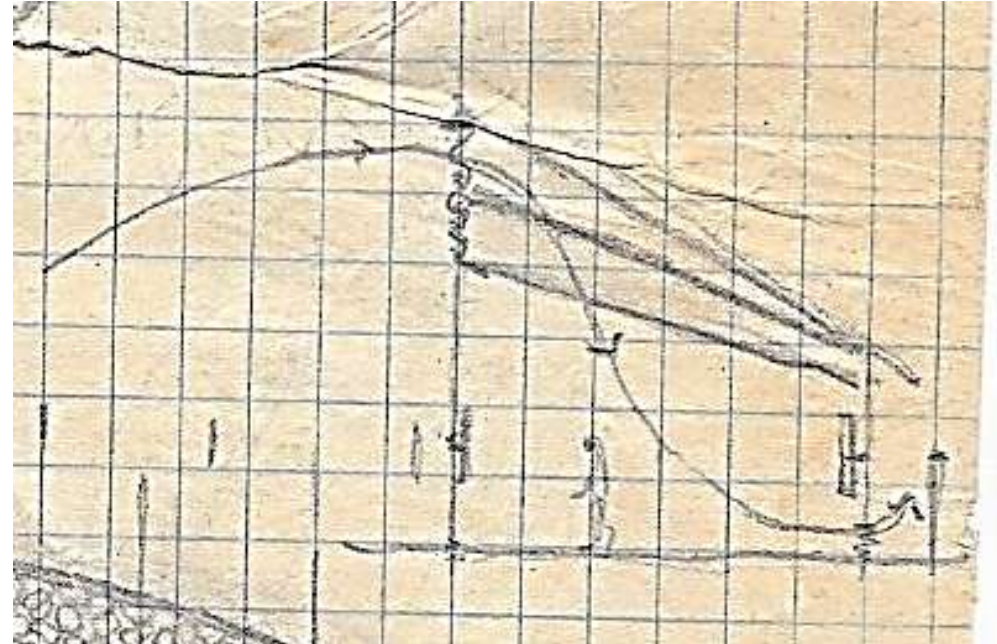
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Affandi Museum: Galerie 1



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

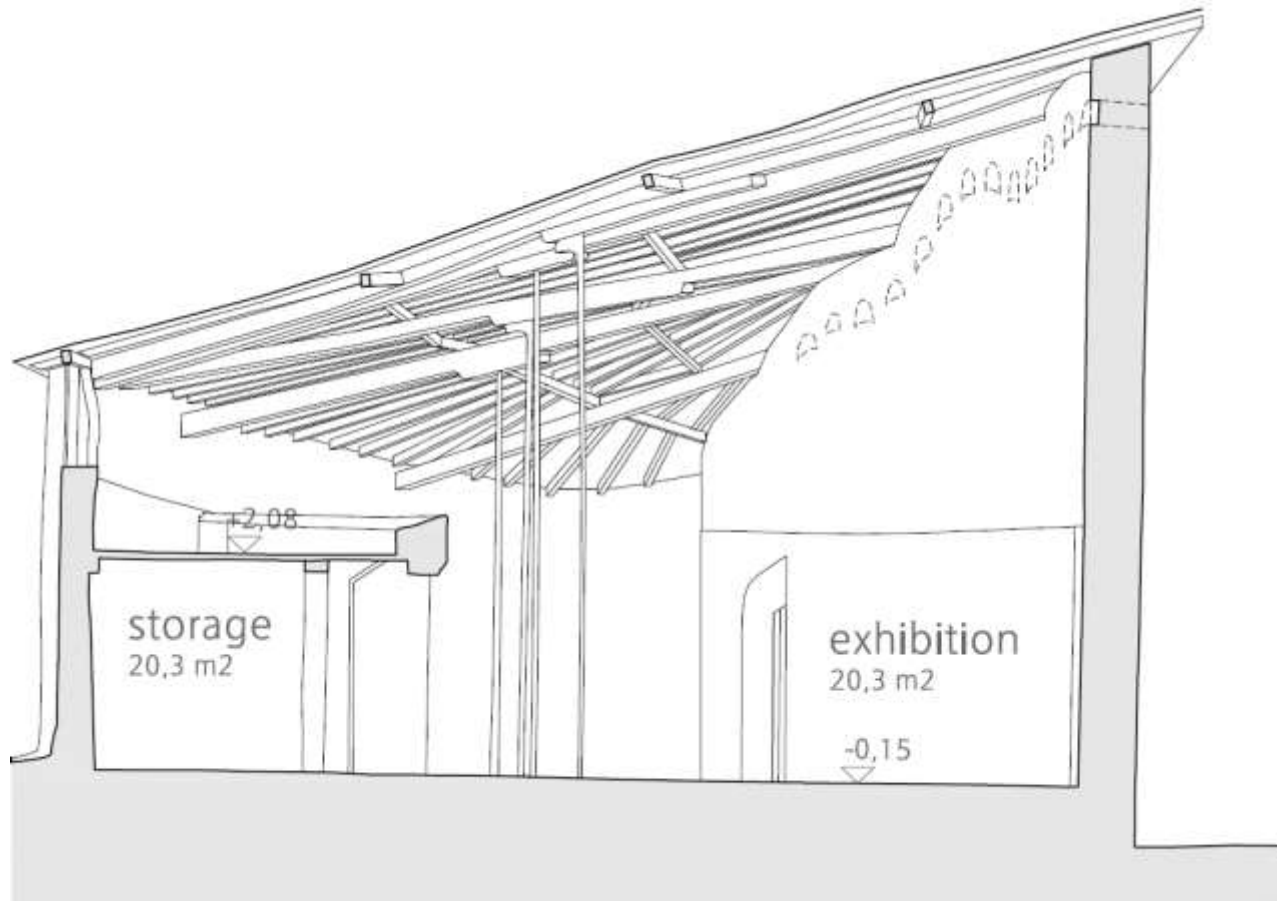
Affandi (1907-1990): Entwurfsidee Galerie 1 (1973 eröffnet)



Quelle: Affandi Museum (links), Skizzenbuch von Affandi (Affandi Rumah Sawunggaling), datiert 1950, Skizze 65, Detail

Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Bauaufnahme TU Wien, 2015



Quelle: TU Wien, 2015

Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Situation 2019



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Forschungsaufgabe

Ziel

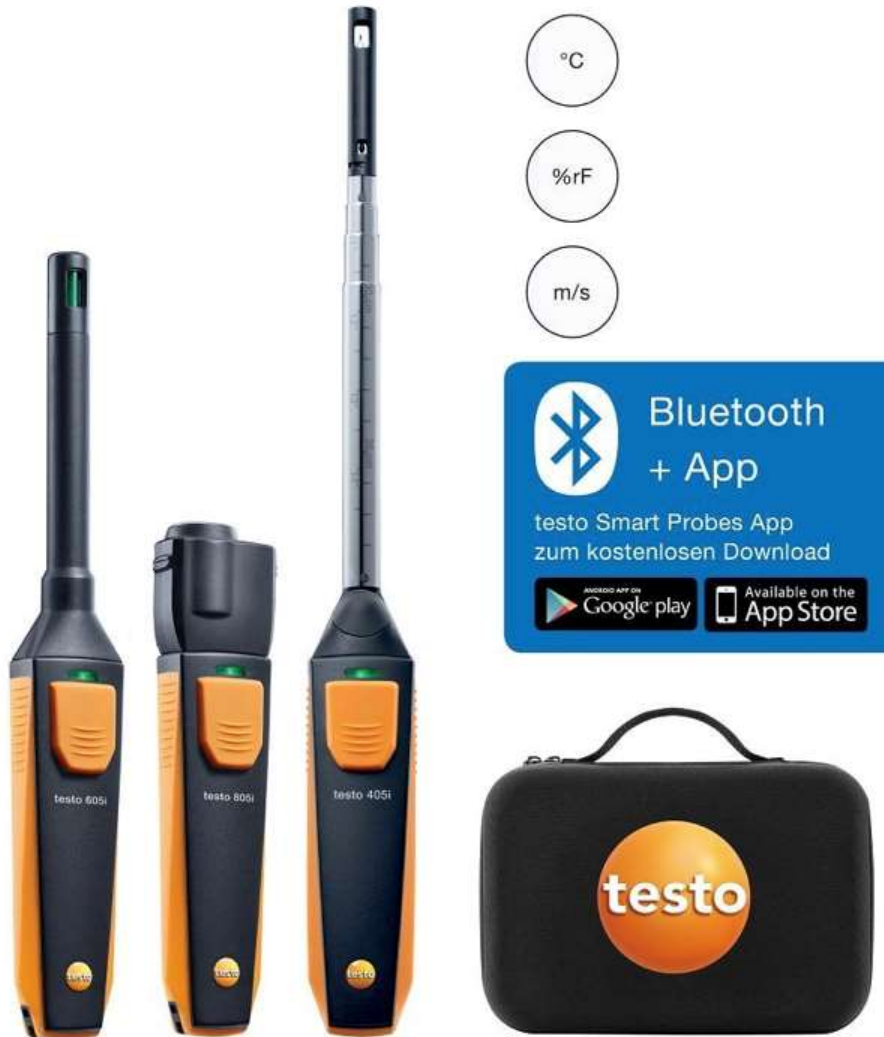
Schaffung **konstanter Raumklimaverhältnisse** nach Anforderungen **für Kunstobjekte und Besucher** in vier Galerien, einem Depot, einer Restaurierungswerkstatt, in Verwaltungsräumen

Methode

- **Bestands- und Zustandsanalyse**
- **Digitalen Zwilling** zur Entwicklung, Überprüfung und Empfehlung von Raumkühlungsszenarien entwickeln
- **hybride Raumklimatisierung regeln**

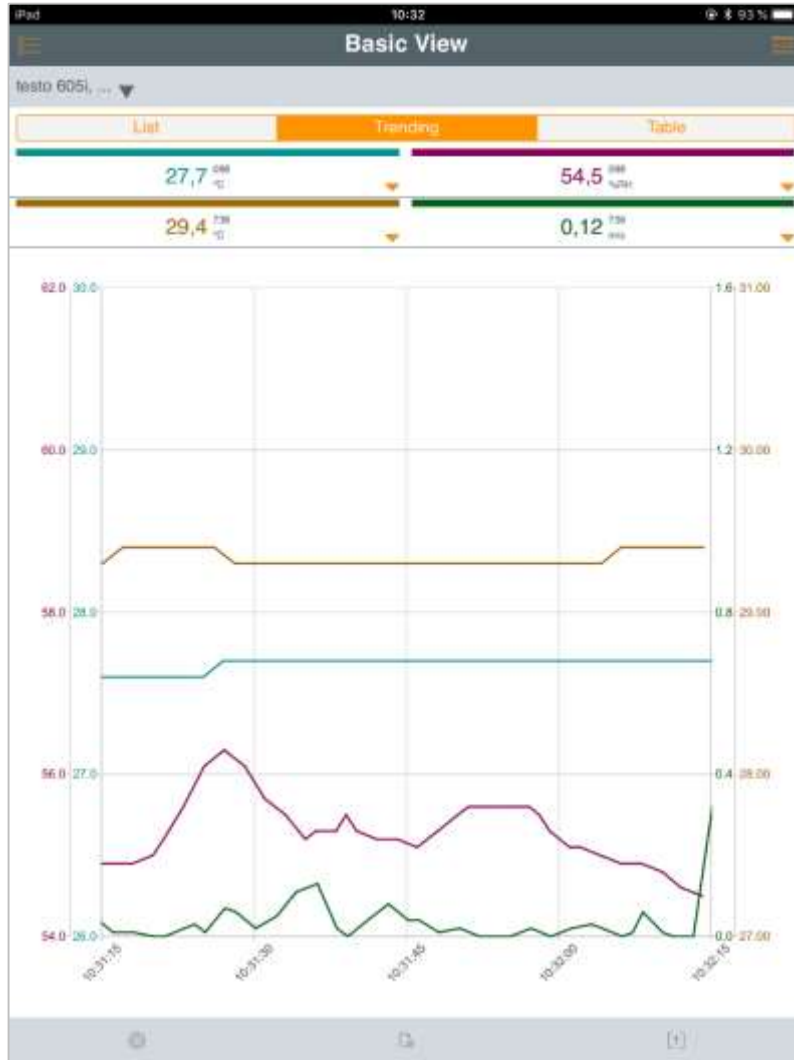
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Erfassung der aktuellen Situation



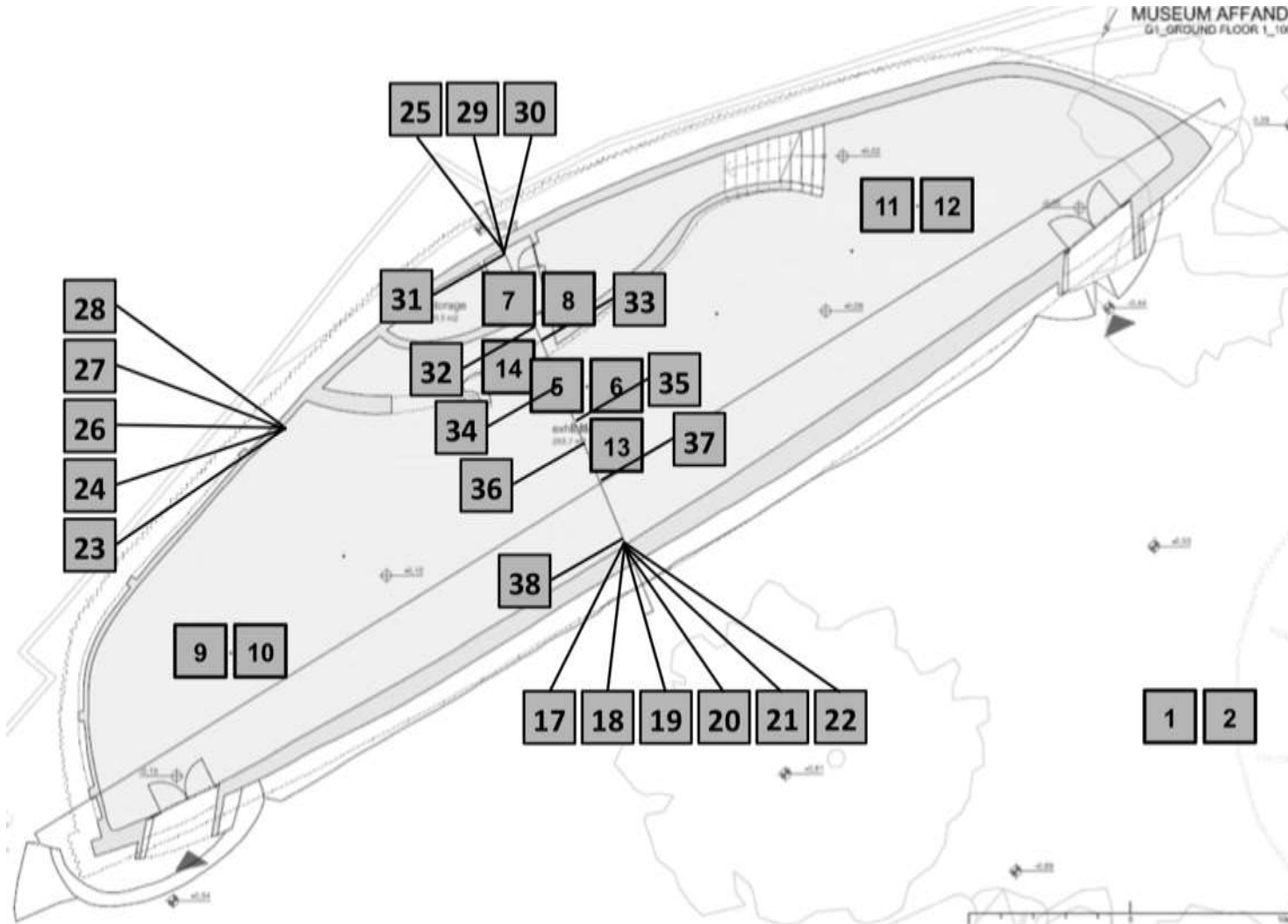
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Raumklima (Temp., rel. Feuchte, v), Schimmelgefahr



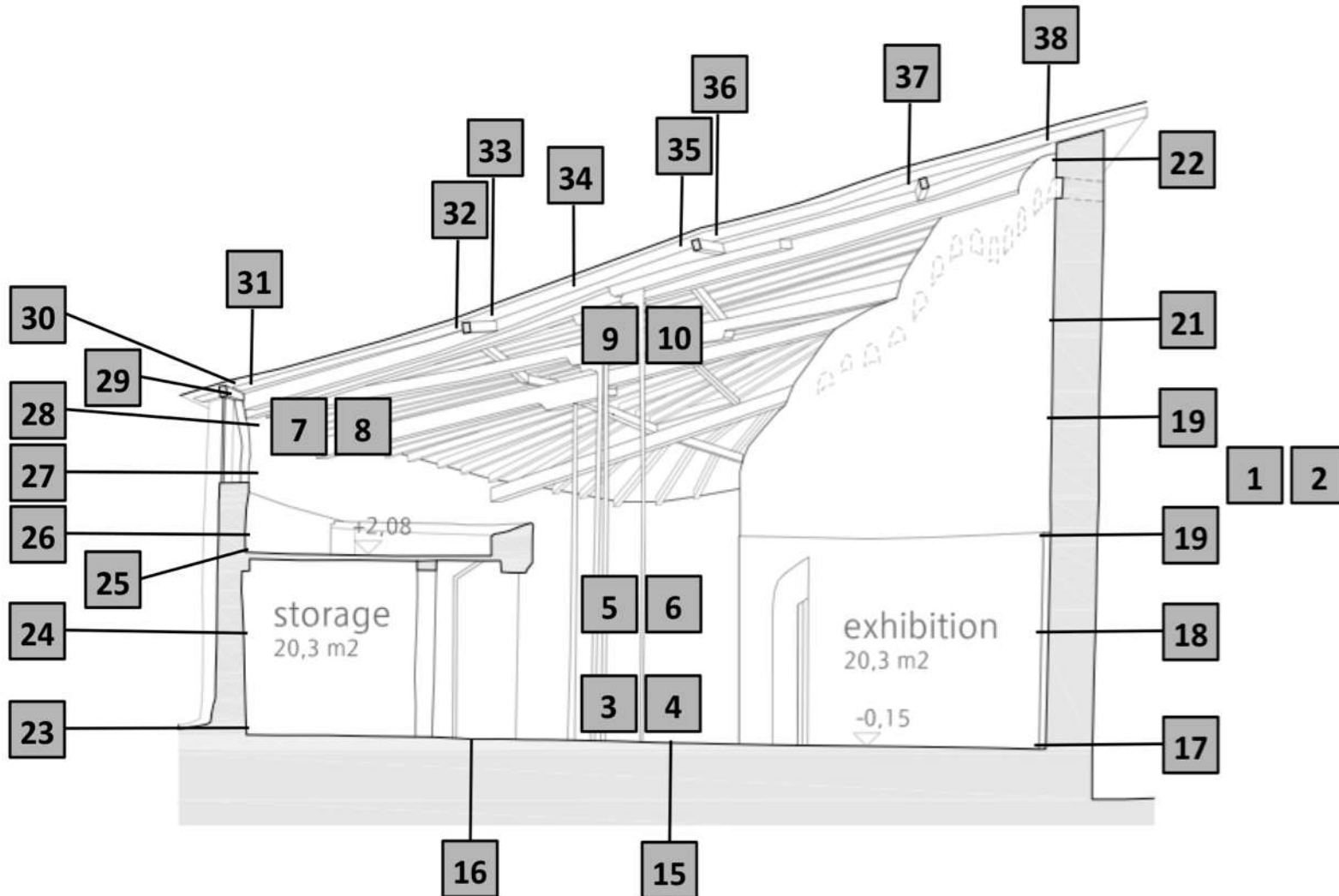
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Luft- und Oberflächentemperaturen



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Luft- und Oberflächentemperaturen



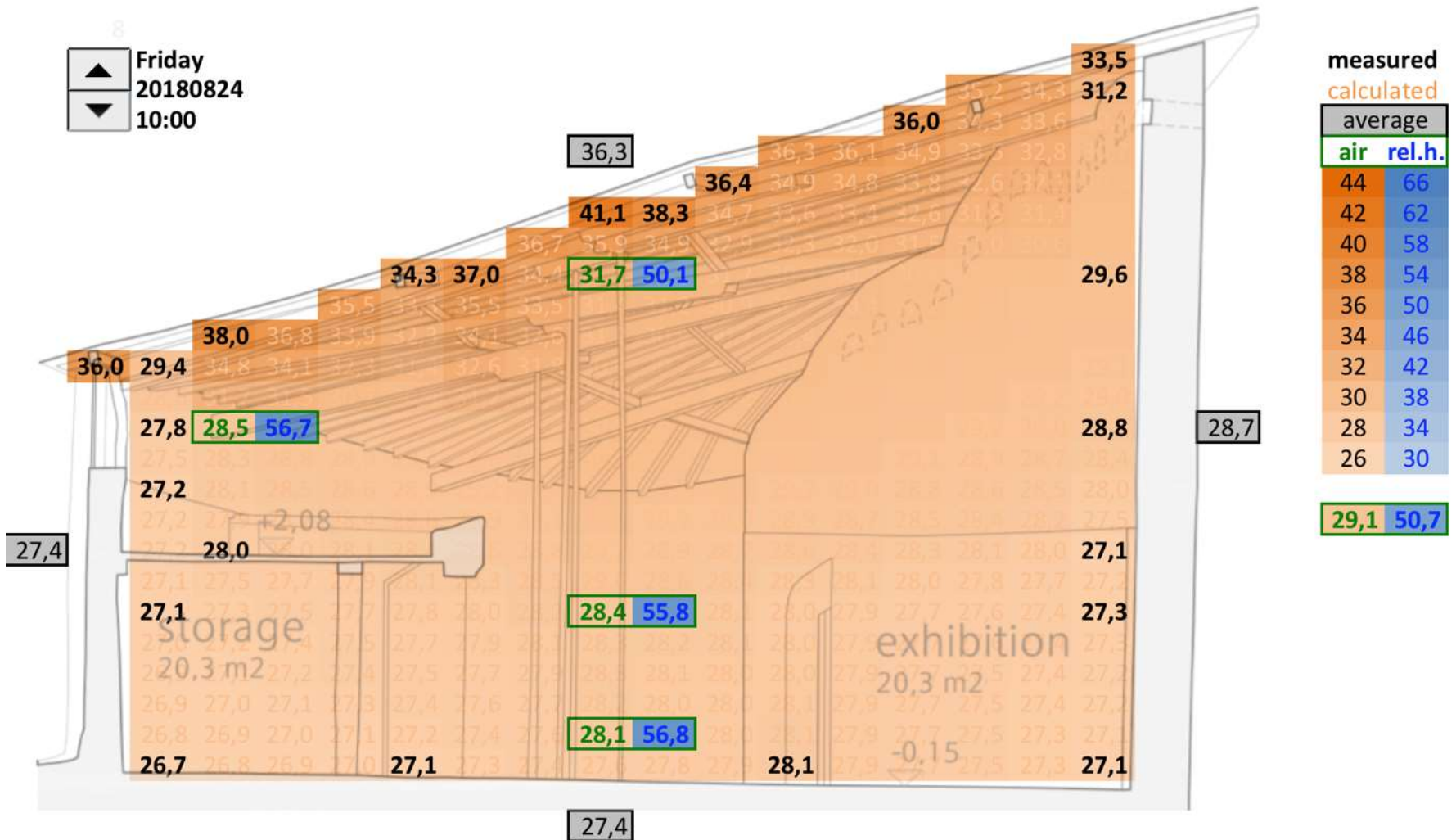
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Luft- und Oberflächentemperaturen

Yogyakarta, Indonesia			Wednesday	Wednesday	Wednesday	Thursday	Thursday	Thursday	Friday	Friday	Friday
Affandi Museum Gallery			20180822	20180822	20180822	20180823	20180823	20180823	20180824	20180824	20180824
			10:00	13:00	16:00	10:00	13:00	16:00	10:00	13:00	16:00
outdoor@air@temperature	T_e	1	28,4	31,3	32,6	27,9	32,0	32,2	29,1	34,4	33,3
outdoor@air@humidity	rh_e	2	58,2	47,2	38,9	59,0	49,2	44,3	50,7	37,3	31,0
indoor@air@temp_mid_10	T_i_m_10	3	28,8	30,1	30,8	27,8	28,6	29,2	28,1	29,2	29,7
indoor@air@temp_mid_10	rh_i_m_10	4	63,4	59,0	54,1	57,4	55,3	53,0	56,8	51,7	47,0
indoor@air@temp_mid_160	T_i_m_160	5	29,1	30,9	31,7	28,0	29,0	29,7	28,4	29,8	30,3
indoor@air@temp_mid_160	rh_i_m_160	6	61,4	55,6	50,4	56,7	54,1	51,6	55,8	49,1	44,7
indoor@air@temp_gallery_390	T_i_g_390	7	28,7	30,5	31,4	28,0	28,6	29,3	28,5	29,4	29,8
indoor@air@temp_gallery_390	rh_i_g_390	8	62,4	56,4	51,0	58,5	55,3	53,0	56,7	49,6	45,6
indoor@air@temp_mid_550	T_i_m_550	9	31,2	34,1	34,3	30,7	33,9	33,7	31,7	36,3	34,5
indoor@air@temp_mid_550	rh_i_m_550	10	55,3	47,3	44,1	53,4	48,3	46,9	50,1	42,4	37,2
indoor@air@temp_west_160	T_i_w_160	11	29,0	30,8	31,3	28,4	29,2	29,8	28,9	30,1	30,3
indoor@air@temp_west_160	rh_i_w_160	12	62,6	57,9	53,9	56,8	53,6	51,8	57,3	46,8	46,1
indoor@air@temp_east_160	T_i_e_160	13	28,7	30,5	31,4	28,0	28,6	29,3	28,5	29,4	29,8
indoor@air@temp_east_160	rh_i_w_160	14	62,4	56,4	51,0	58,5	55,3	53,0	56,7	49,6	45,6
floor_mid	T_f_m	15	28,2	29,9	30,6	28,4	29,4	29,6	28,1	30,8	30,8
floor_wall_inner	T_f_wi	16	27,4	28,5	29,0	27,7	28,1	28,3	27,1	29,0	29,6
roof_shingles_730	T_r_s_730	38	32,1	35,1	36,3	31,6	34,9	35,4	33,5	38,8	37,9
roof_shingles_700	T_r_s_700	37	32,6	35,7	36,0	31,9	36,4	36,0	36,0	41,0	37,8
roof_shingles_630	T_r_s_630	36	33,2	36,2	35,4	32,5	36,8	35,0	36,4	41,0	36,8
roof_shingles_620	T_r_s_620	35	32,4	36,1	33,6	33,1	37,4	33,8	38,3	42,1	34,8
roof_glass_580	T_r_g_580	34	33,5	35,1	30,9	33,1	37,2	30,5	41,1	42,5	31,0
roof_shingles_540	T_r_s_540	33	34,7	35,6	33,9	32,8	36,8	34,2	37,0	41,6	35,9
roof_shingles_520	T_r_s_520	32	33,6	36,1	33,9	32,5	36,3	34,3	34,3	39,3	35,6
roof_shingles_430	T_r_s_430	31	33,3	35,9	31,9	32,5	35,1	33,0	38,0	42,5	34,3
roof_vent_420	T_r_v_420	30	33,3	34,1	32,0	31,8	34,8	32,4	36,0	38,9	33,9
wall_east@purlin_420	T_we_420_p	29	29,2	31,1	31,8	28,5	31,0	31,0	30,3	33,7	33,7
wall_east_420	T_we_420	28	29,1	32,6	32,7	29,3	32,0	32,6	29,4	33,0	33,0
wall_east_370	T_we_370	27	27,6	29,4	30,7	27,3	28,5	29,6	27,8	29,8	30,9
wall_east_260	T_we_260	26	27,4	29,0	30,0	27,0	28,0	28,6	27,2	28,8	29,7
wall_east_220_ceiling	T_we_220_c	25	27,7	28,3	29,4	27,5	28,3	28,9	28,0	28,9	29,6
wall_east_150	T_we_150	24	27,3	28,5	29,3	26,9	27,8	28,4	27,1	28,6	29,3
wall_east_000	T_we_000	23	26,6	27,4	28,1	26,6	27,2	27,2	26,7	27,8	28,1
wall_west_730	T_ww_730	22	30,2	32,8	34,6	30,1	35,3	33,8	31,2	35,5	36,4
wall_west_470	T_ww_470	21	29,2	31,0	32,1	28,9	30,8	31,8	29,6	32,8	33,2
wall_west_370	T_ww_370	20	28,5	30,3	31,0	28,4	29,6	30,1	28,8	30,9	31,4
wall_west_260	T_ww_260	19	28,0	28,9	30,3	27,5	27,8	28,1	27,1	28,3	29,3
wall_west_150	T_ww_150	18	28,4	29,3	29,7	27,3	28,3	28,4	27,3	29,2	29,6
wall_west_000	T_ww_000	17	28,1	28,6	29,0	27,2	28,1	28,1	27,1	28,8	29,2

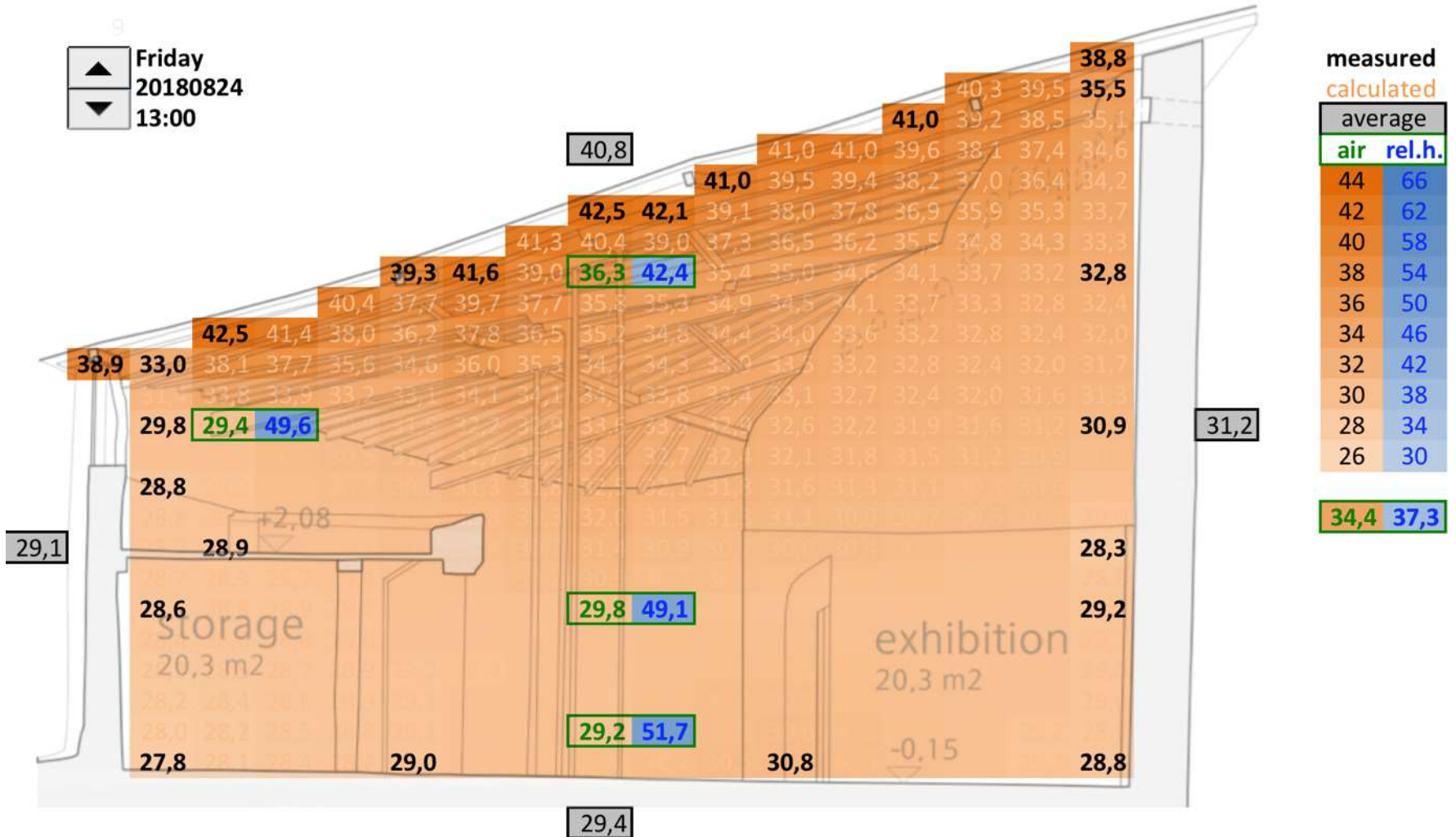
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Simulieren: Luft- und Oberflächentemperaturen



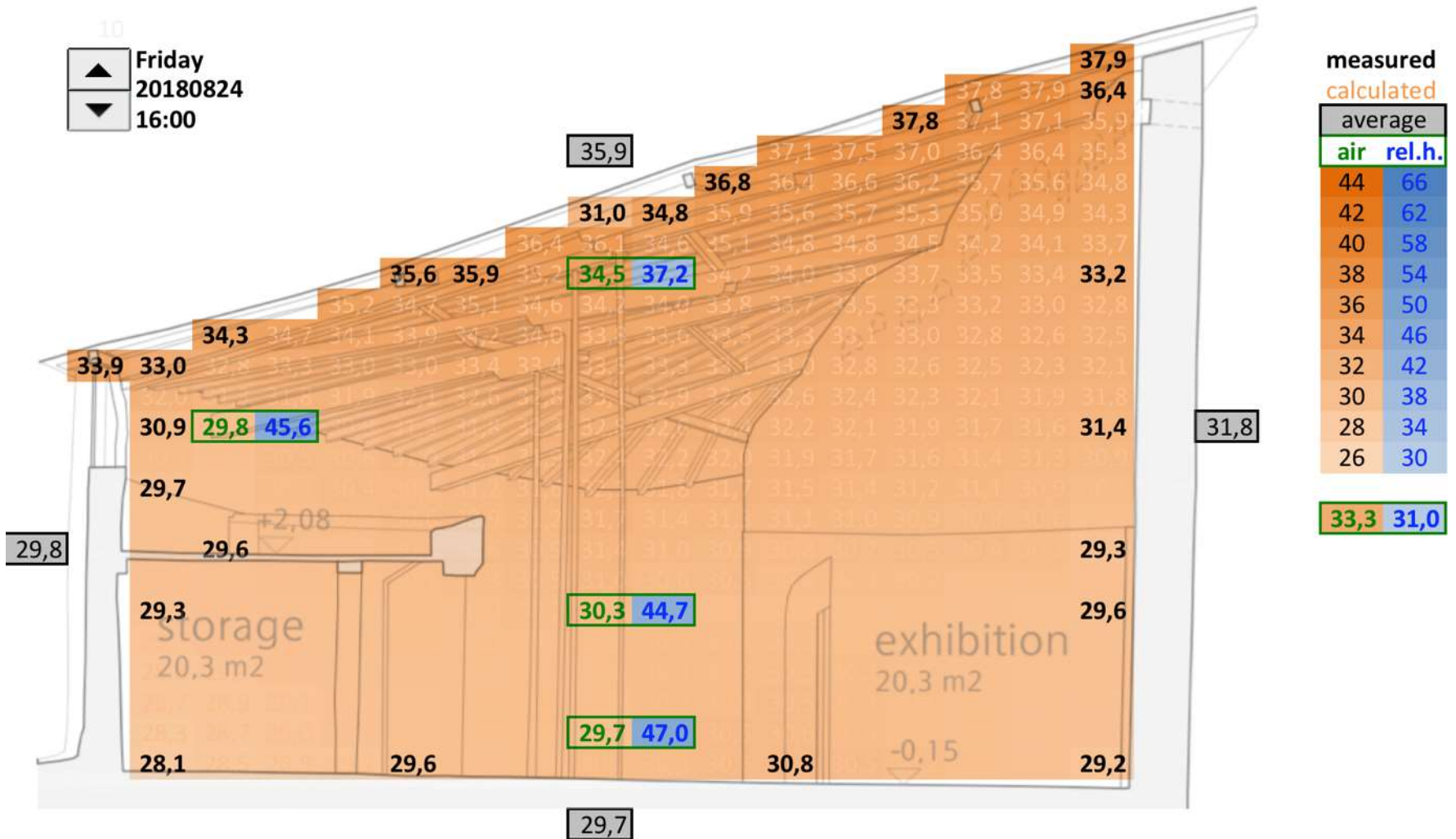
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Simulieren: Luft- und Oberflächentemperaturen



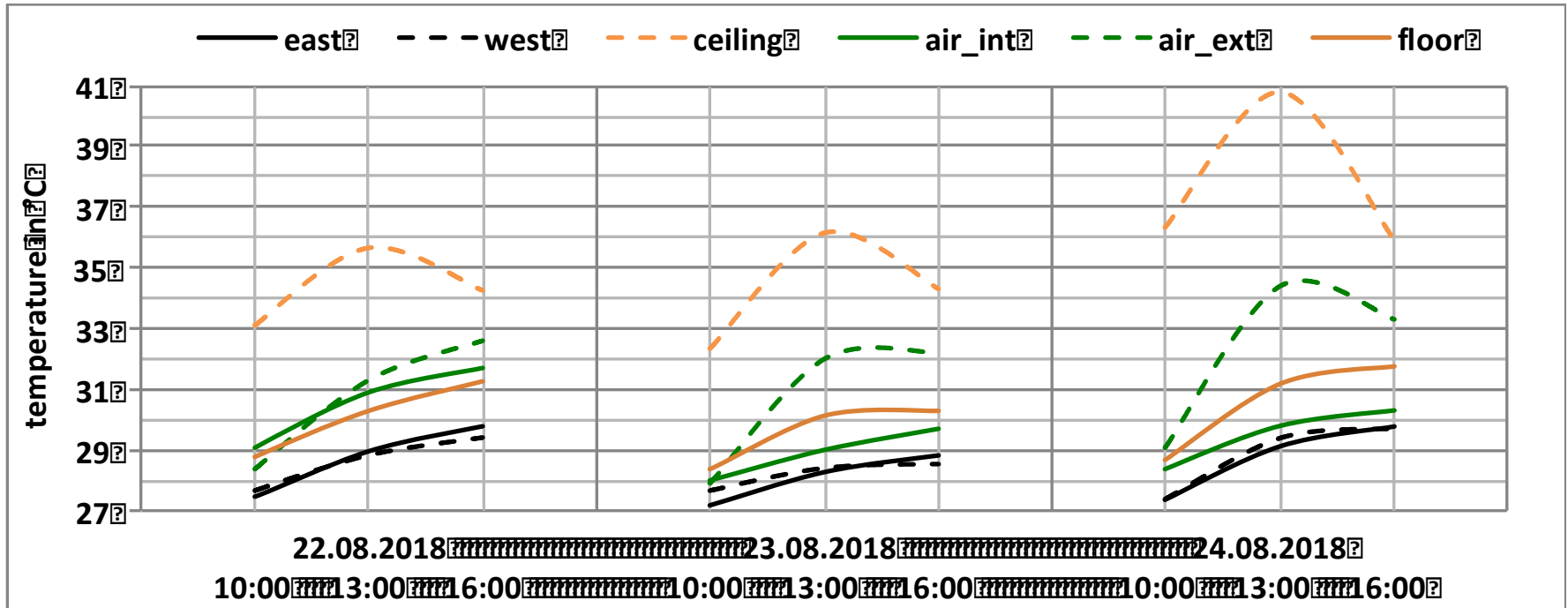
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Simulieren: Luft- und Oberflächentemperaturen



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Simulieren: Luft- und Oberflächentemperaturen



situation: Wednesday
 Museum closed, calm winter day
 no air conditioning
 all windows and doors closed

discussion: air_int follows air_ext
 building envelope absorbs heat

Thursday
 9:30 windows open, air cooler on
 10:00 windows partly closed
 13:00 partly cloudy sky
 16:00 windows closed, air cooler off

air_int much lower than air_ext
 building envelope parallel to air_int

Friday
 9:30 windows open, air cooler on
 10:00 windows partly closed
 13:00 blue sky, high temperature, dry air
 16:00 windows closed, air cooler off

air_int much lower than air_ext
 walls and floor absorb radiant heat
 ceiling very warm due to solar radiation

Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Thermografische Untersuchung



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Thermografische Untersuchung



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Thermografische Untersuchung



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Thermografische Untersuchung



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Klima-Monitoring mit Netatmo Wetter Station (WiFi)



Discover your home environment

The Weather Station's Indoor Module measures your indoor comfort by providing vital data through its sensors, alerting you when you need to air out your home to bring down its pollution levels.

- Temperature
- Humidity
- Air quality
- Ventilation warning
- Sound meter

Download on the App Store | GET IT ON Google Play

Buy now



Discover your external environment

The Weather Station's wireless Outdoor Module gives you real-time weather data that matters: measurements are gathered from its sensors right on your doorstep.

- Temperature
- Humidity
- Air quality
- Barometric pressure
- Weather

Buy now

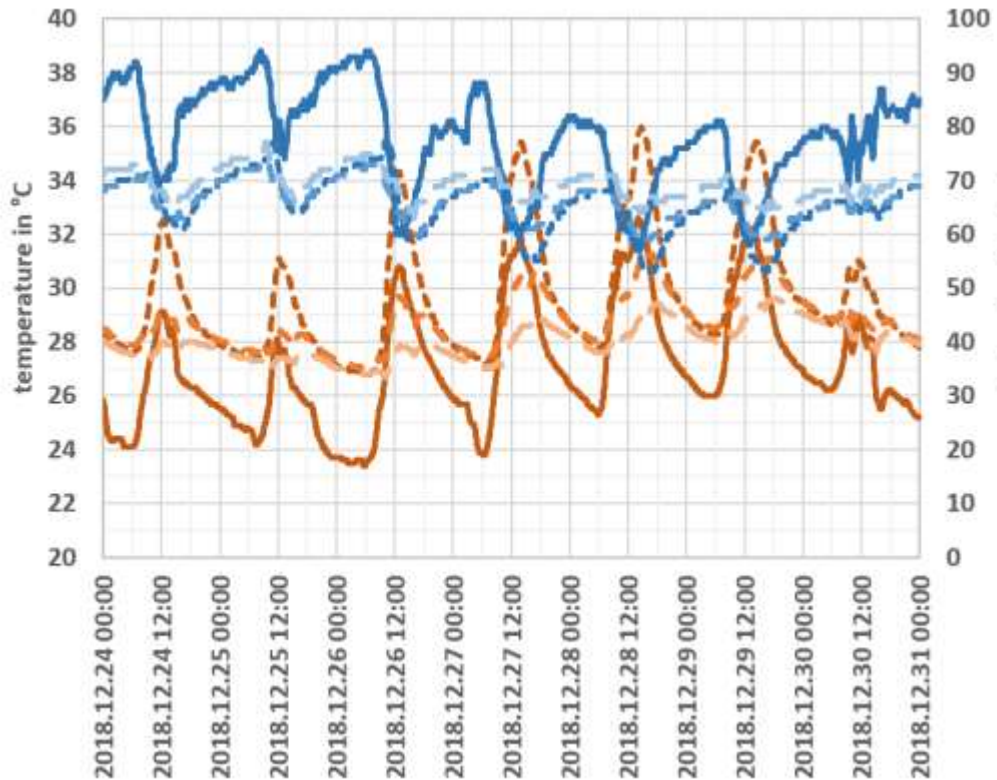
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Klima-Monitoring mit Netatmo Wetter Station (WiFi)



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Temperatur & rel. Feuchte in Galerie 1 und außen (7 Tage)

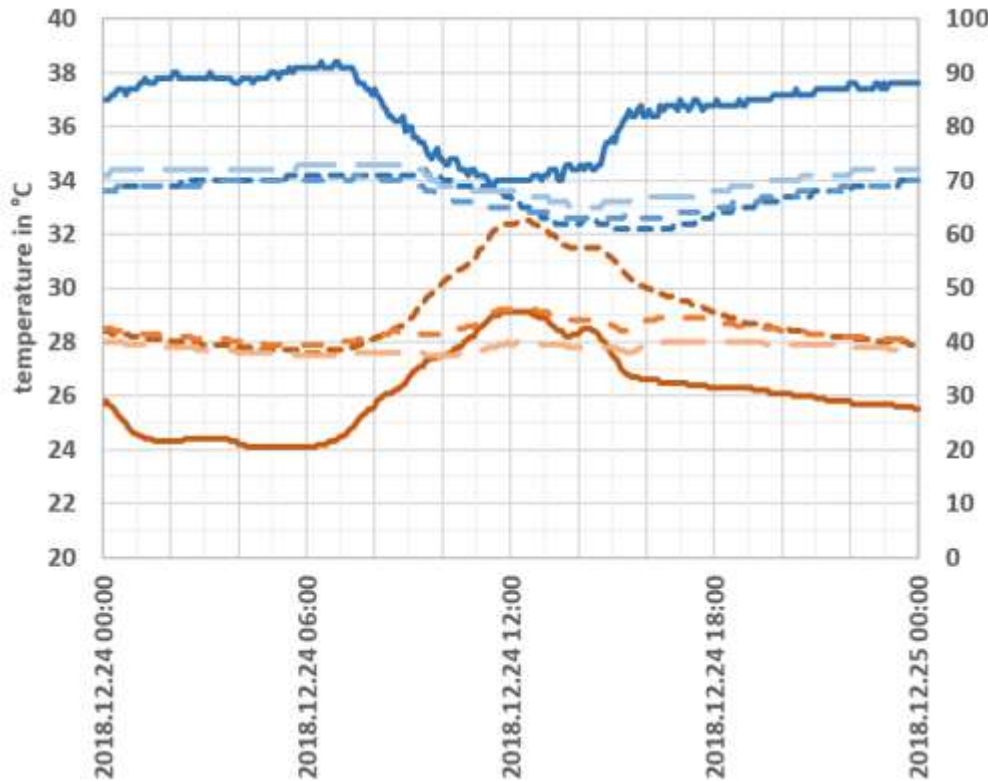


	avg	min	max
T_out	27,0	23,4	32,6
T_top	29,7	26,8	36,0
T_med	28,7	27,0	31,3
T_in	28,0	26,7	29,6
rh_out	78	57	94
rh_top	66	53	78
rh_med	66	59	74
rh_in	69	63	77



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Messen: Temperatur & rel. Feuchte in Galerie 1 und außen (1 Tag)



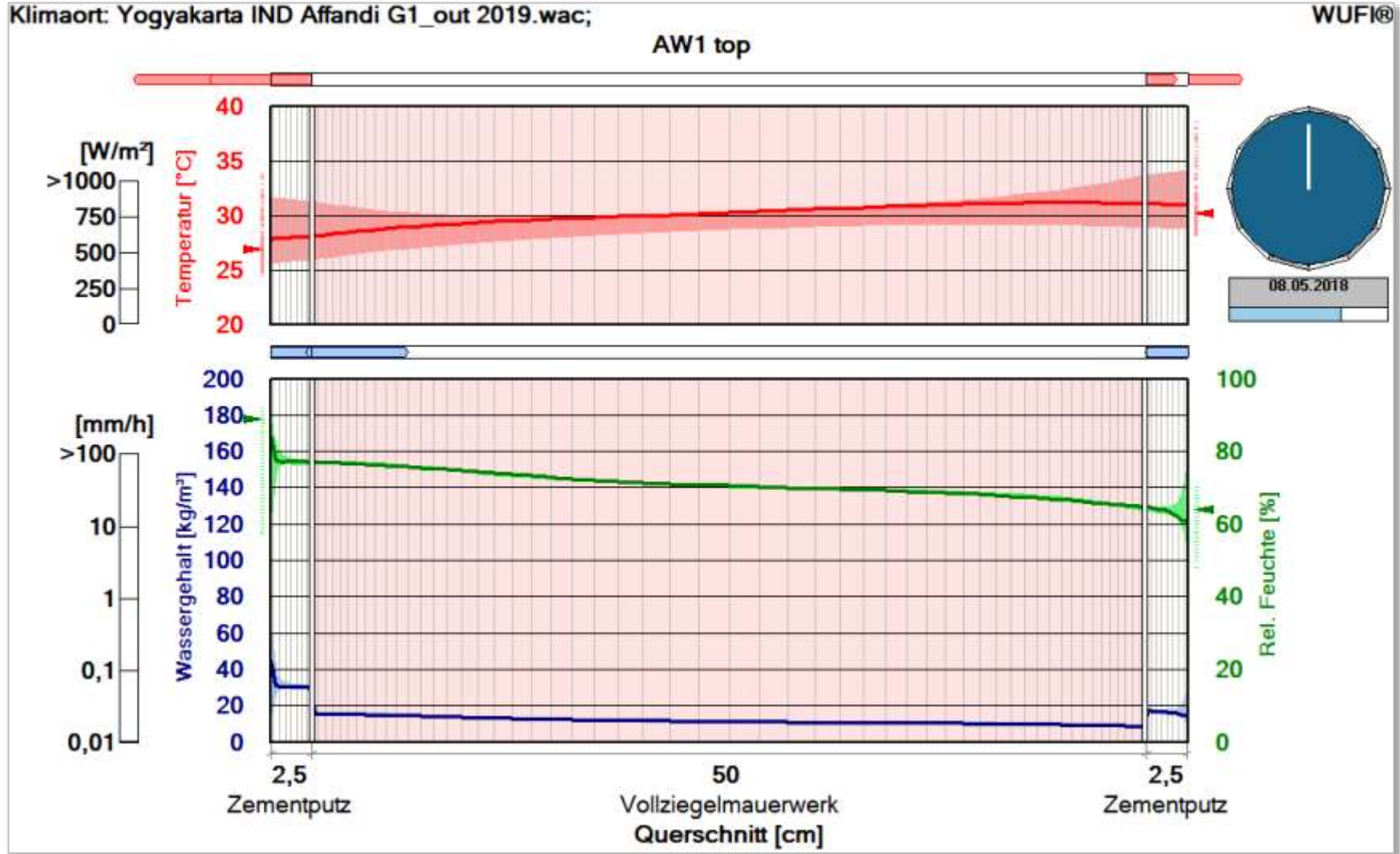
- T_out
- - - T_top
- - - T_med
- - - T_in
- rh_out
- - - rh_top
- - - rh_med
- - - rh_in

	avg	min	max
T_out	26,1	24,1	29,1
T_top	29,1	27,6	32,5
T_med	28,4	27,9	29,2
T_in	27,8	27,4	28,0
rh_out	83	69	92
rh_top	67	61	72
rh_med	67	63	71
rh_in	70	65	73



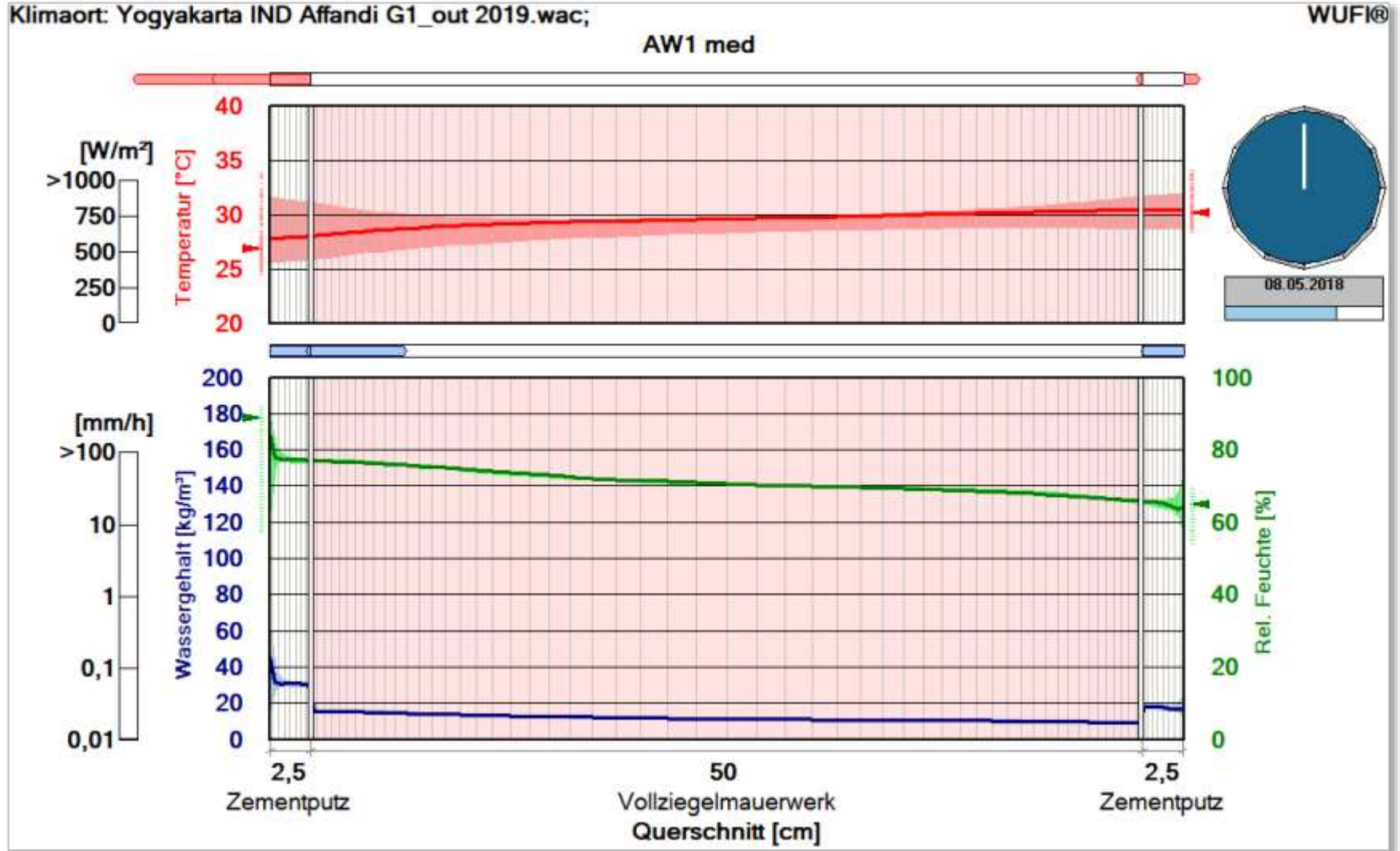
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Simulieren: Hygrothermische Bauteilsimulation mit WuFi pro



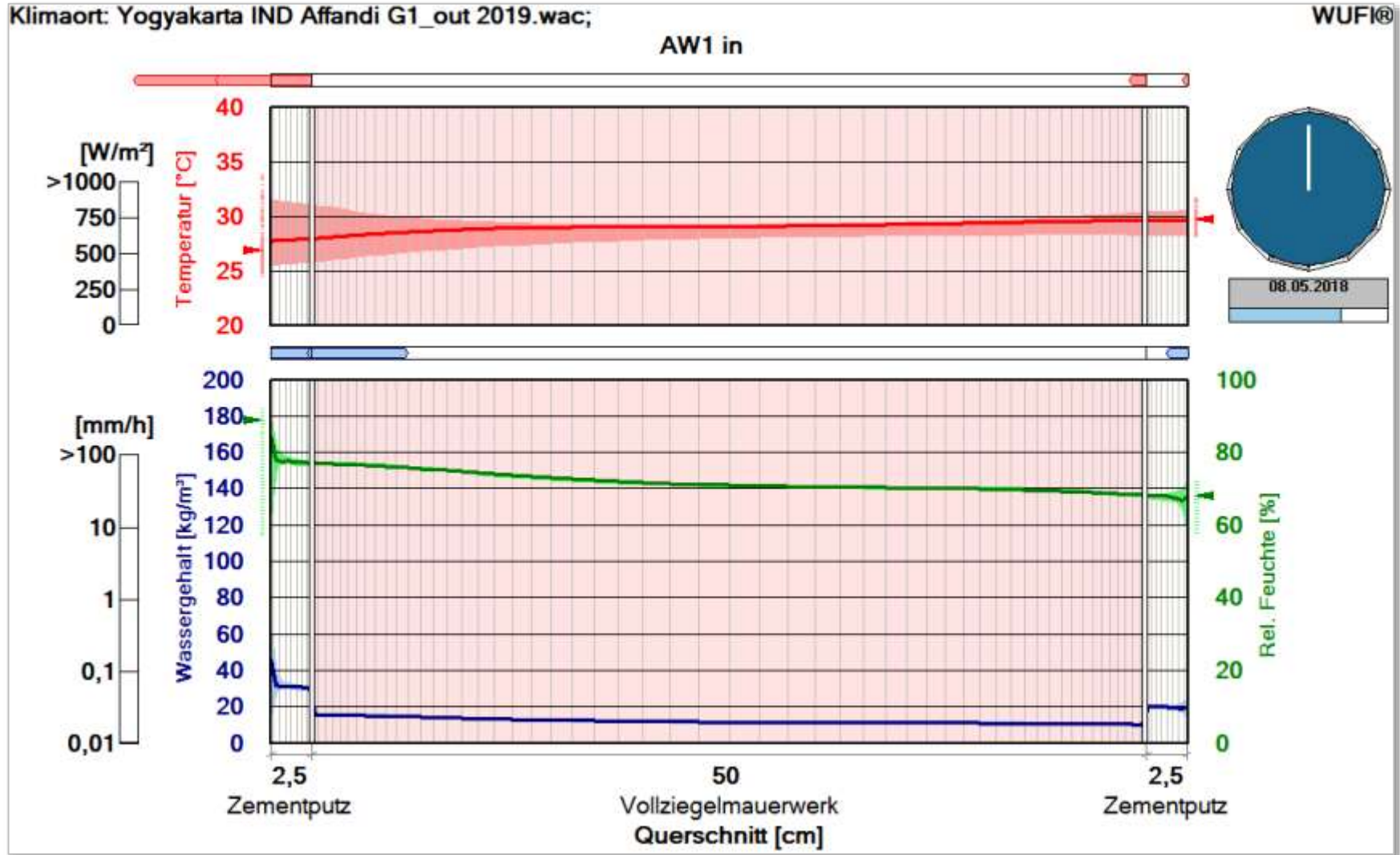
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Simulieren: Hygrothermische Bauteilsimulation mit WuFi pro



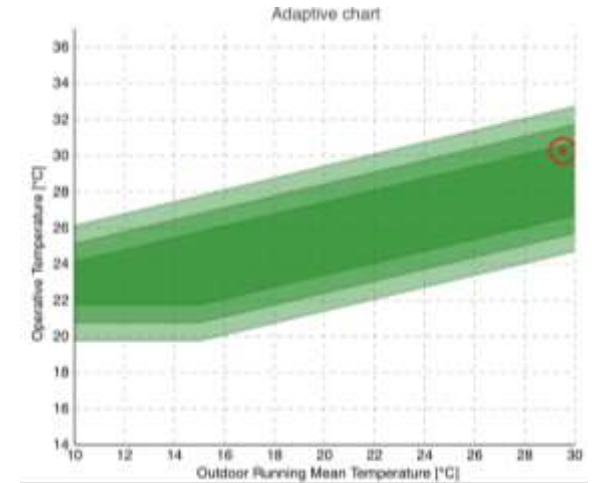
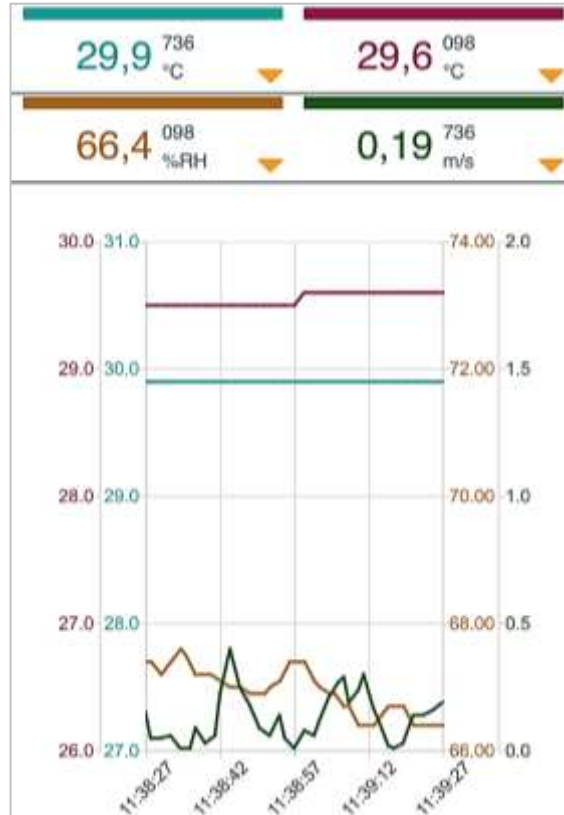
Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Simulieren: Hygrothermische Bauteilsimulation mit WuFi pro



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Thermische Behaglichkeit gemessen und adaptiv bewertet



Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Regeln: Szenarien im digitalen Zwilling überprüfen

Vorläufiges Ergebnis:

- Raumklima für Kunst und Besucher nur bedingt zufriedenstellend
- **kein Schimmel** an Kunst und Gebäude
- Raumklima **zu warm** für Besucher
- Weiterer **Optimierungsbedarf**

Nächste Schritte:

- Ermittlung der **Raumklimaanforderungen für Kunstobjekte**
- **Aufsichtspersonal** für Raumklima sensibilisieren und zur natürlichen Lüftung animieren
- Raum für Besucher **stärker aktiv kühlen**
- **Digitalen Zwilling** zur Entwicklung, Überprüfung und Empfehlung von Raumkühlungsszenarien (Szenarien für Lüftung, Verschattung, aktive Kühlung) erstellen

Kunstgalerie in Yogyakarta, Indonesien

Research reported in this publication was jointly supported by the ASEAN-European Academic University Network (ASEA-UNINET), the Austrian Federal Ministry of Education, Science and Research and the Austrian Agency for International Cooperation in Education and Research (OeAD-GmbH)



Büroraum in Krems, Österreich

messen . simulieren . regeln

Büroraum in Krems, Österreich

FFG gefördertes Forschungsprojekt CoolAIR



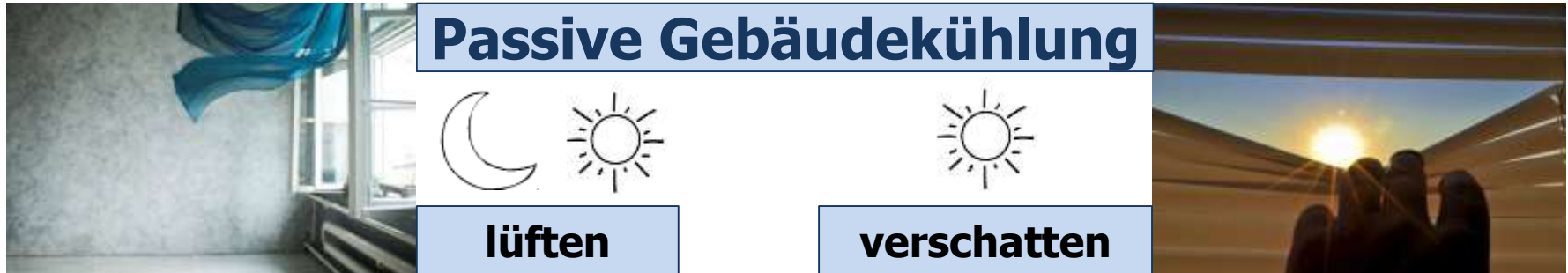
CoolAIR

**prädiktiv geregelte passive
Gebäudekühlung mittels
natürlicher Nachtlüftung
und tageslichtoptimierter
Verschattung**

Campus Donau-Universität Krems,
Altbau
ehem. Austria Tabakwerke erbaut 1922
Neubau: seit 2005

Büroraum in Krems, Österreich

Problem: im Altgebäude über 30°C von Juni bis August



Zielsetzungen des Projektes:

- Entwicklung einer intelligenten Regelung für natürliche Lüftung u. Verschattung
- Potentialabschätzung als Grundlage für Normen und Regelwerke

Innovationsgehalt:

- Prädiktive raumweise Regelung statt statischer zentraler Steuerungsmodelle
- Raumautonomes Modell statt Einbindung in zentrale Gebäudeleittechnik
- Minimale invasive drahtlose Sensorik statt umfangreicher Verkabelung
- Plug & Play Installation im Selbstlernmodus statt hohem Engineering Aufwand

Büroraum in Krems, Österreich

Messen: Mess- und Steuerungskonzept für einen Testraum

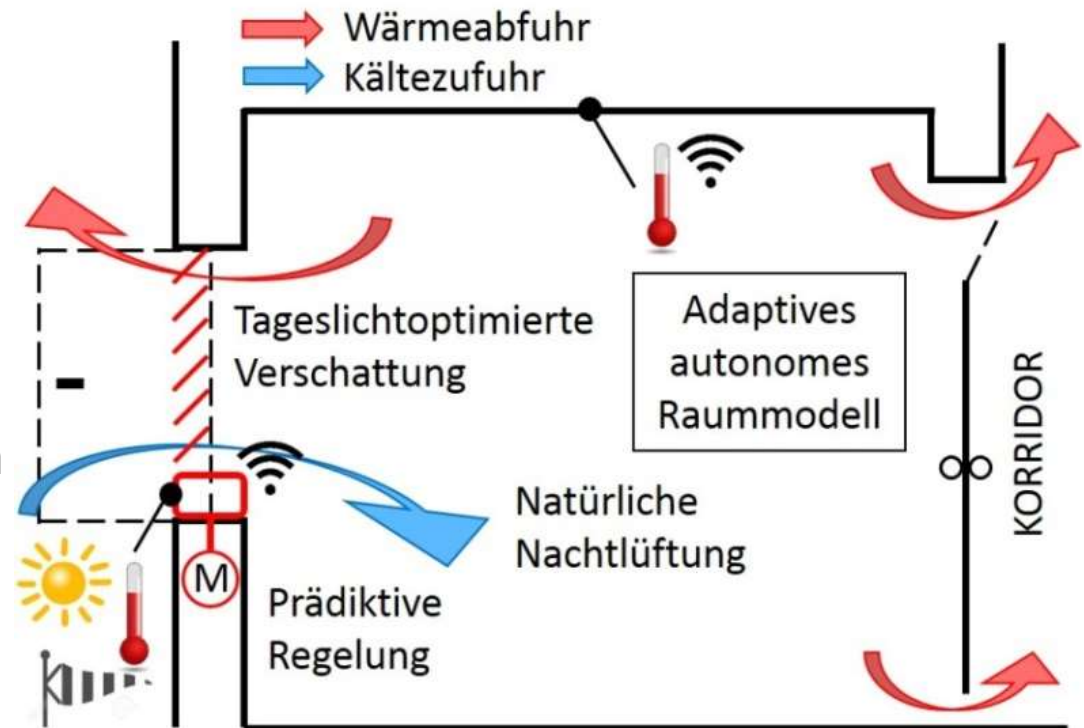
- **Keine Daten von zentraler Gebäudeleittechnik oder vernetzten Datenquellen verwenden** (Wettervorhersage)

- **Sensoren:**

- Außentemperatur
- Wind- und Regensensor
- Strahlungssensor
- Lufttemperaturen
- Oberflächentemperaturen
- Strömungsgeschwindigkeiten
- CO₂

- **Ziel:**

- Konzentration am Fenster
- möglichst wenige Sensoren über energieeffiziente lokale Funkverbindung (WLAN)



Bürraum in Krems, Österreich

Erweiterung des Kastenfenster

- **prädiktiv geregelte, motorgesteuerte Flügelöffnungen (links)**
- **Tageslicht-geregelte Verschattung**



Bürraum in Krems, Österreich

Messen: Thermografie (23.9.2019) Testraum



Büroraum in Krems, Österreich

Messen: Thermografie (23.9.2019) Gangbereich



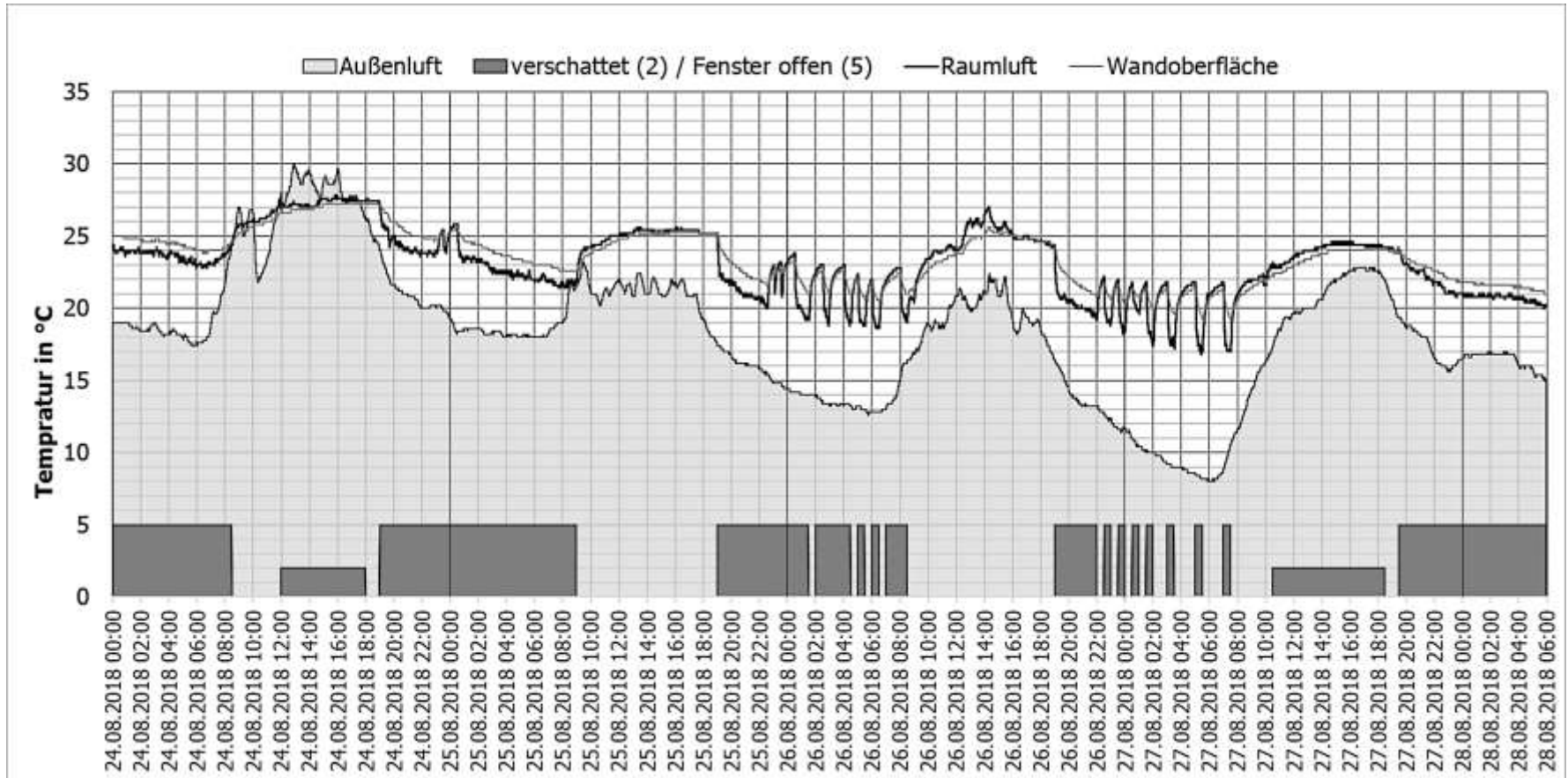
Bürraum in Krems, Österreich

Messen: Thermografie am (23.9.2019) Stiegenhaus



Büroraum in Krems, Österreich

Messen: Datenauswertung (Raumverhalten kennenlernen)

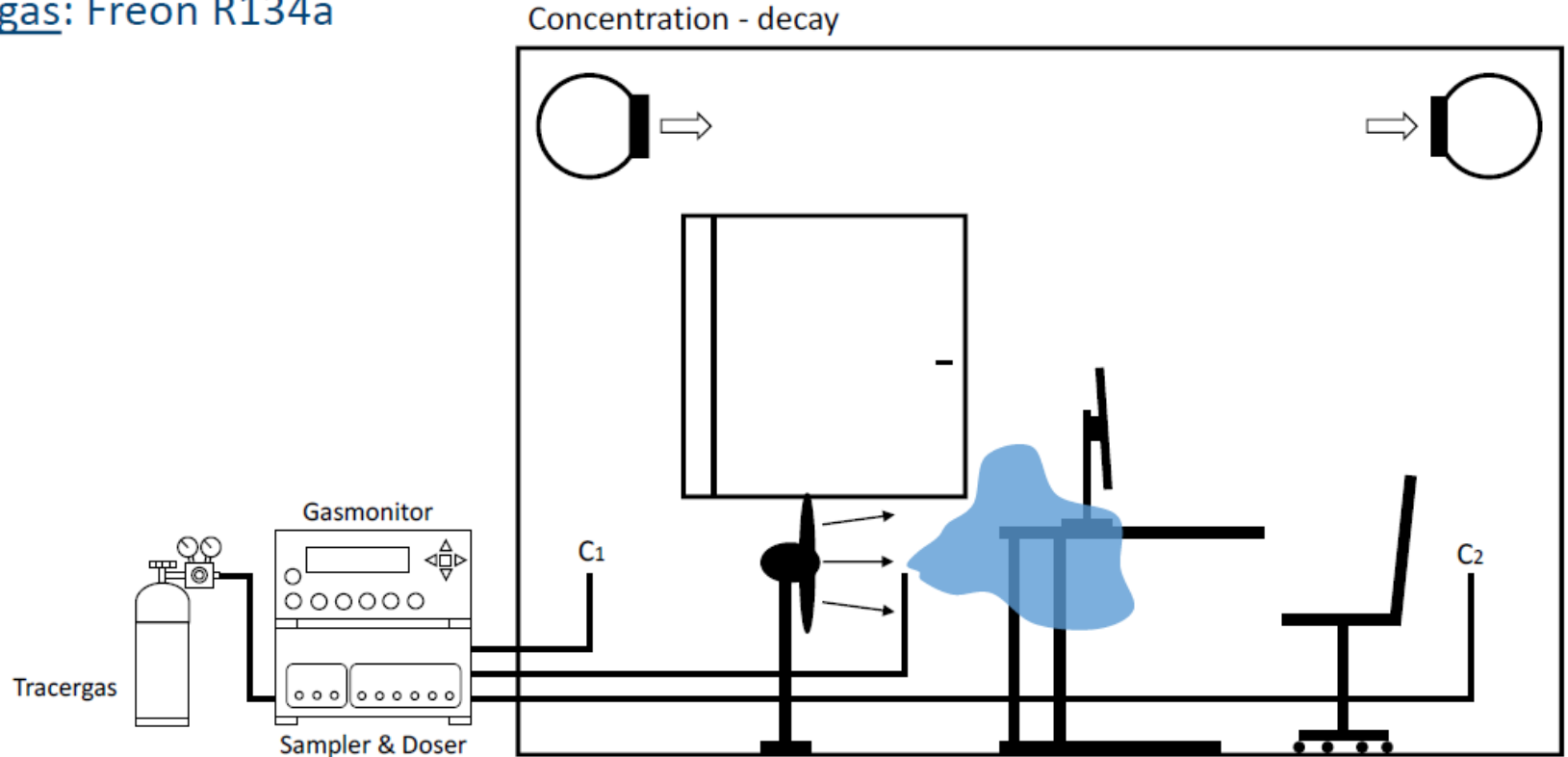


Büroraum in Krems, Österreich

Messen: Tracergas-Messung (FH Burgenland)

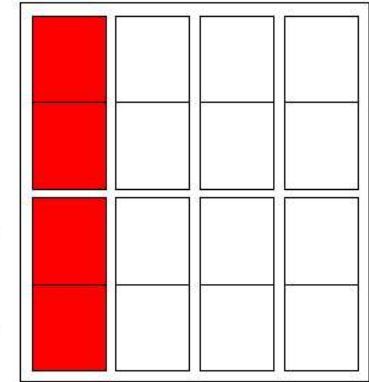
Messgerät: INNOVA 1412i und INNOVA 1403

Tracergas: Freon R134a

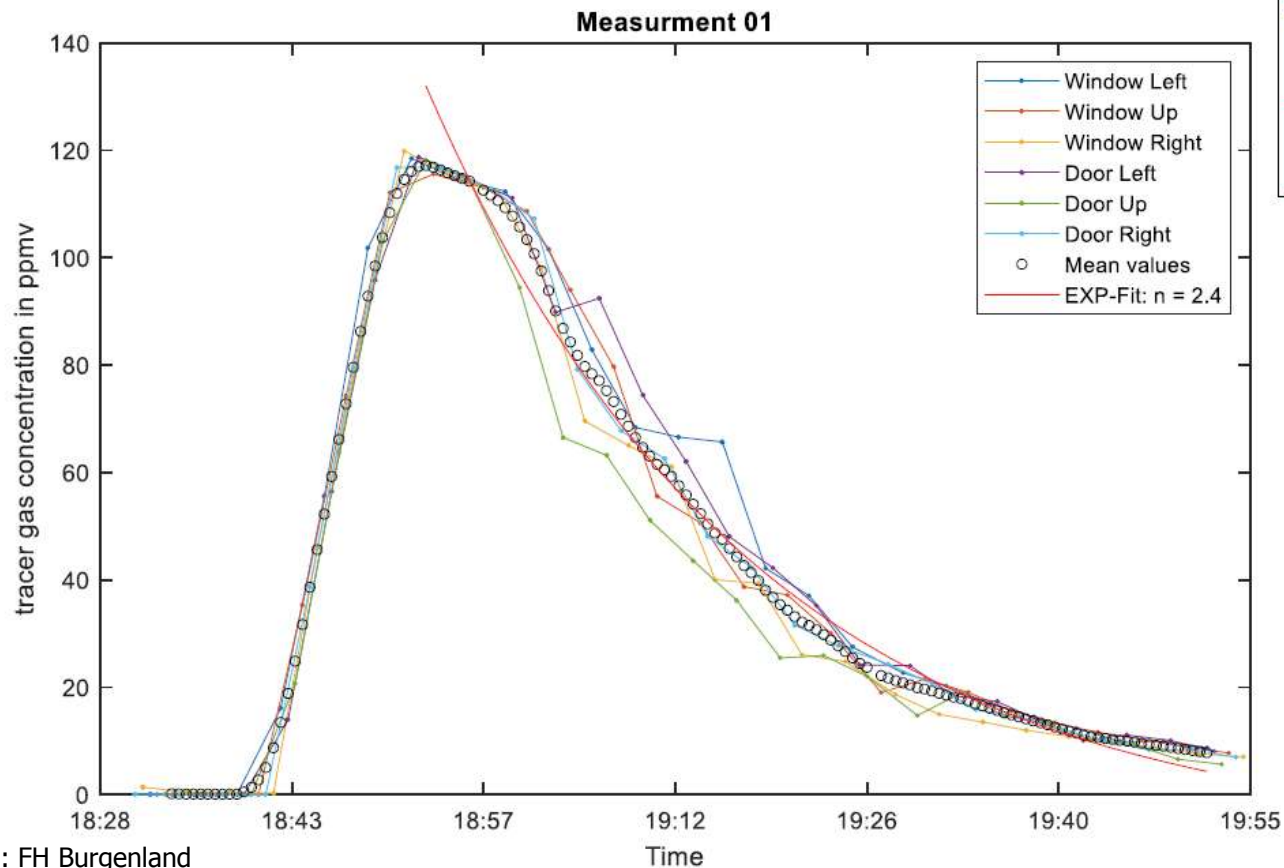


Quelle: FH Burgenland

Tracergasmessung – Messung 1



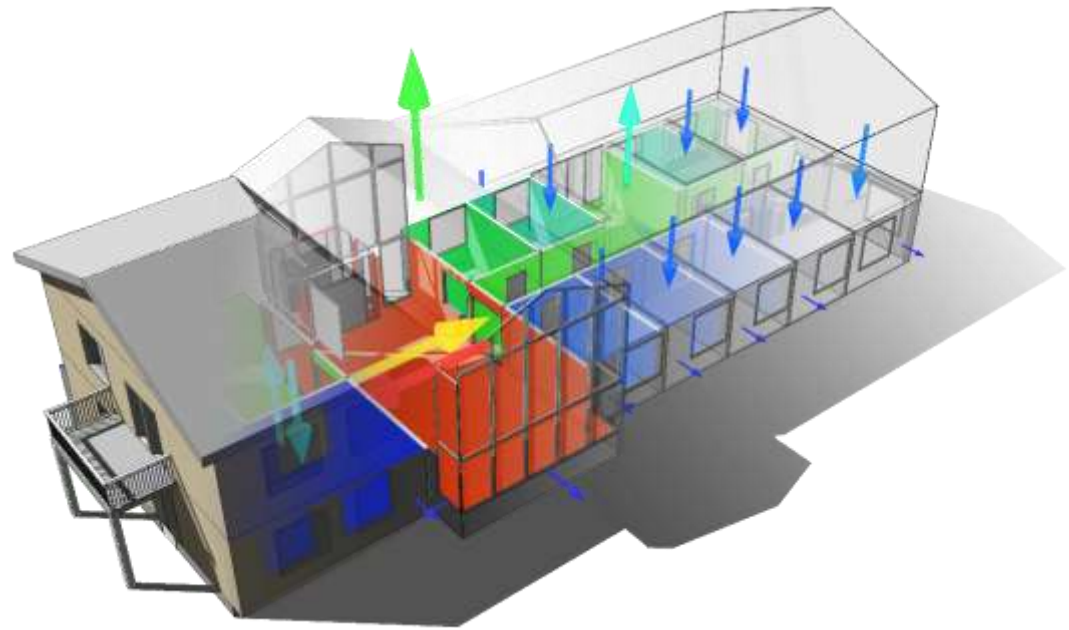
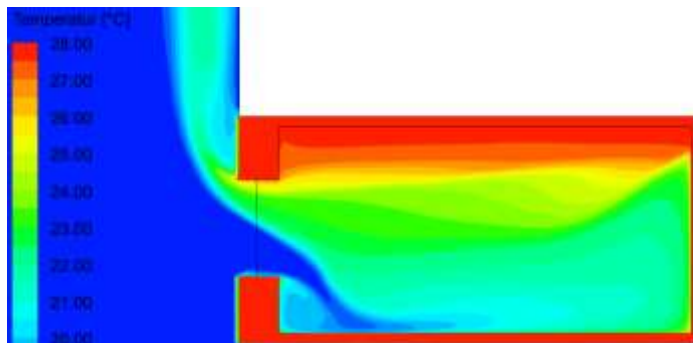
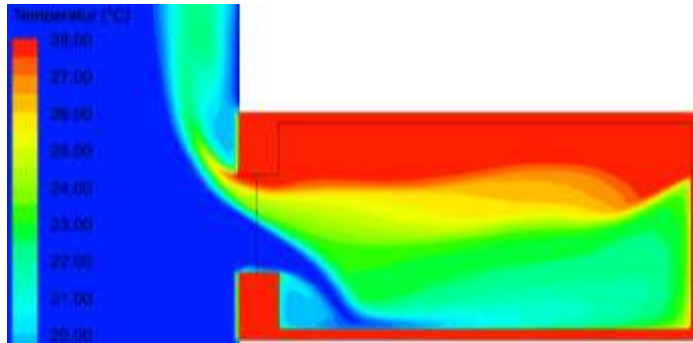
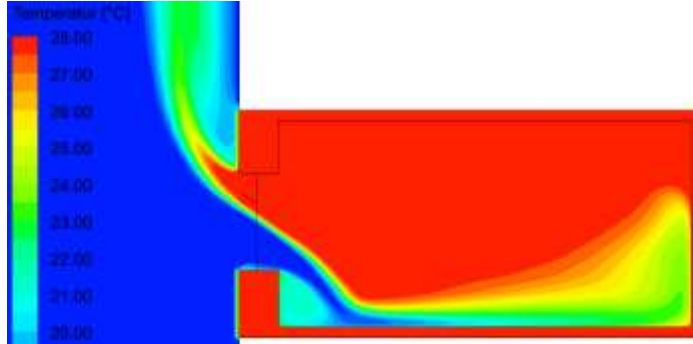
Door Closed



Quelle: FH Burgenland

Büroraum in Krems, Österreich

Simulieren: CFD, Dynamisch thermische Gebäudesimulation

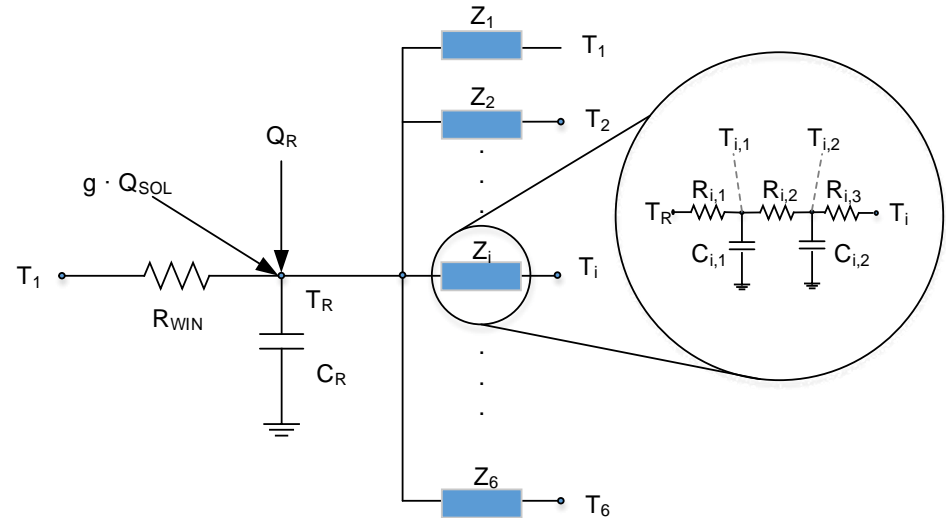


Büroraum in Krems, Österreich

Regeln: Auswahl des Regelmodells (Datenverfügbarkeit!)

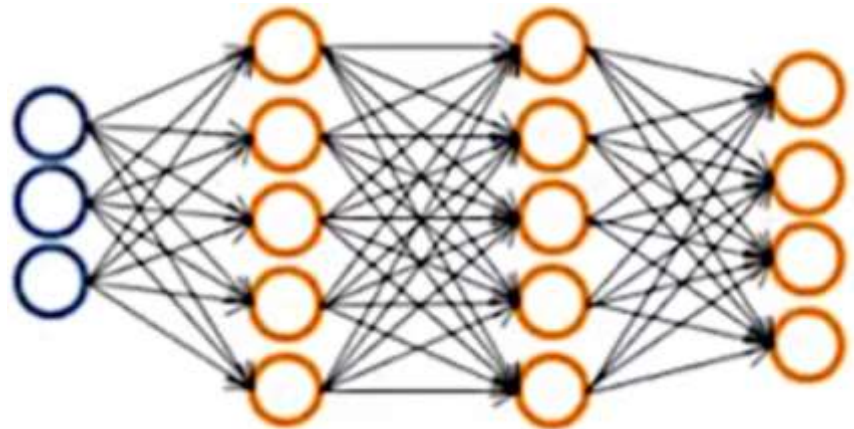
Klassische Modelle:

- Anpassung an Embedded Systems
- Vorhersage-Genauigkeit
- Querlüftung nur empirisch



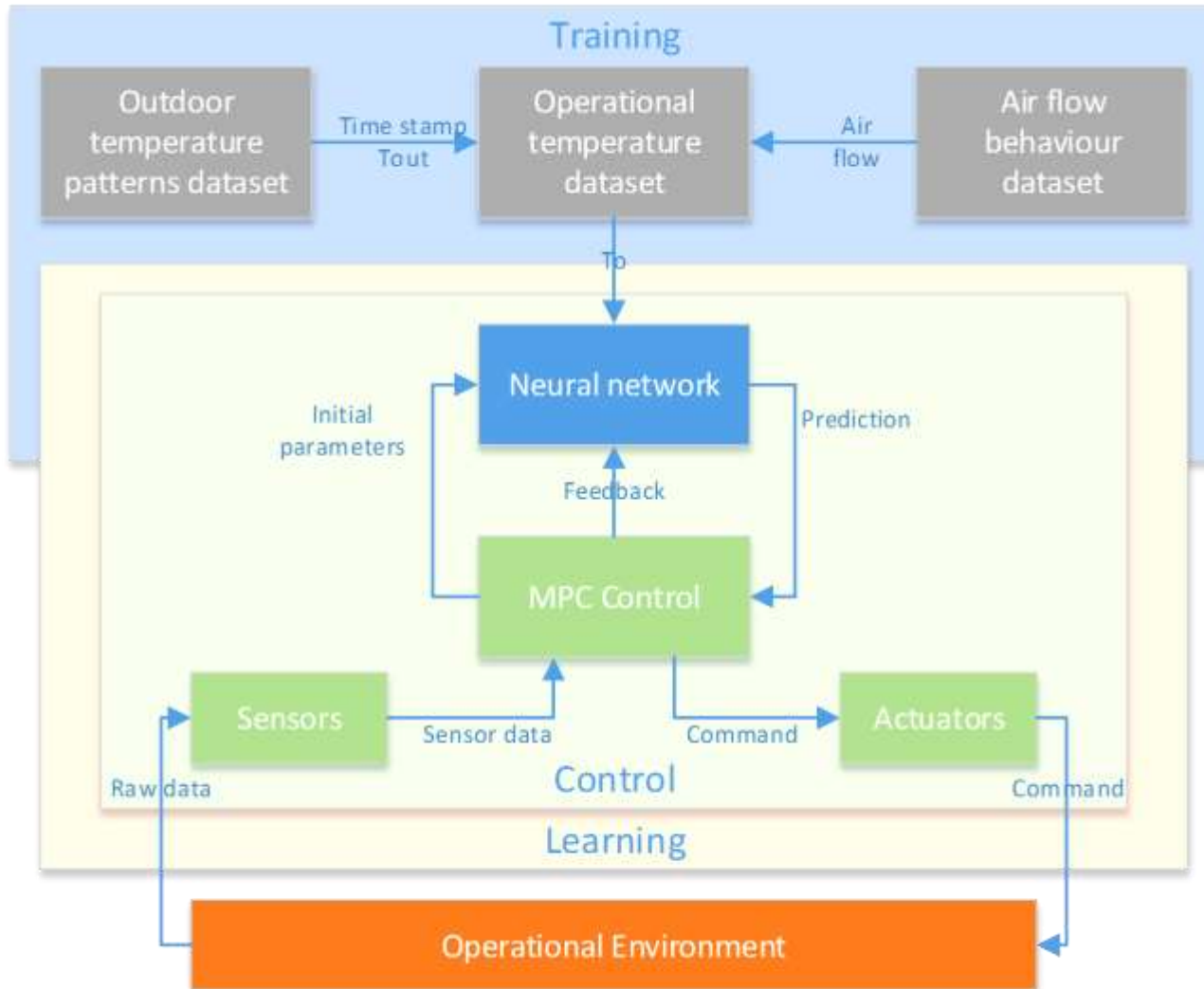
Neuronale Netzwerke:

- Implizites Informationsmodell
- Optimiert für **Machine Learning**
- **Primärer Ansatz im Projekt**



Büroraum in Krems, Österreich

Regeln: Machine Learning Process



Bürraum in Krems, Österreich

Regeln: Machine Learning Process (Daten!)

Trainingsphase

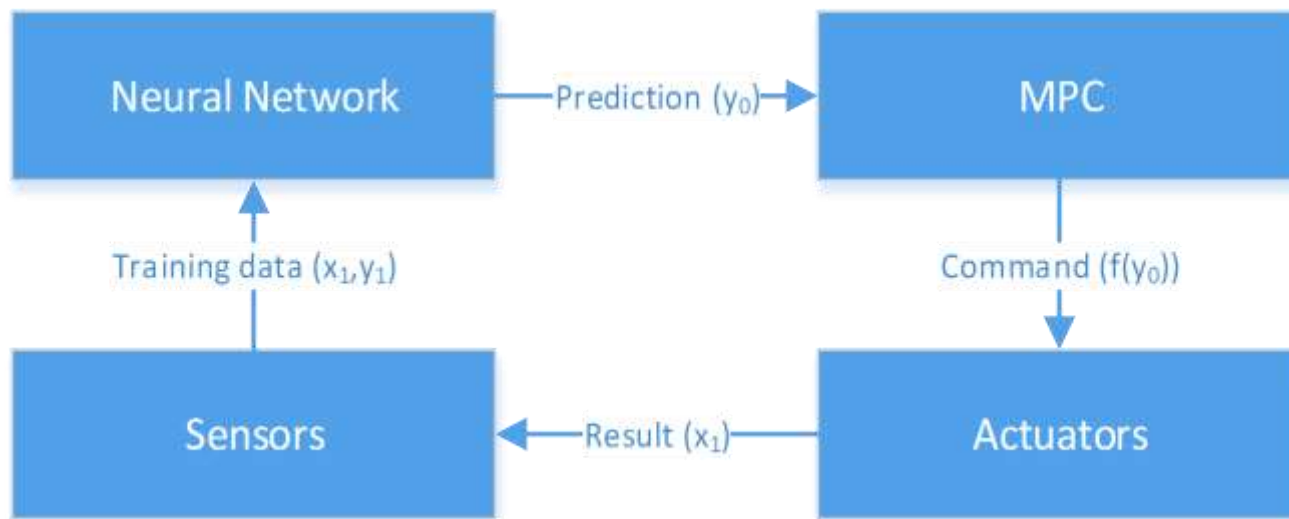
während der Produktentwicklung

- Klima- und Wetterdatensätze
- Dynamische thermische und CFD-Simulationen von prototypischen Räumen (patterns)
- Klimazonenspezifische Initialkonfiguration

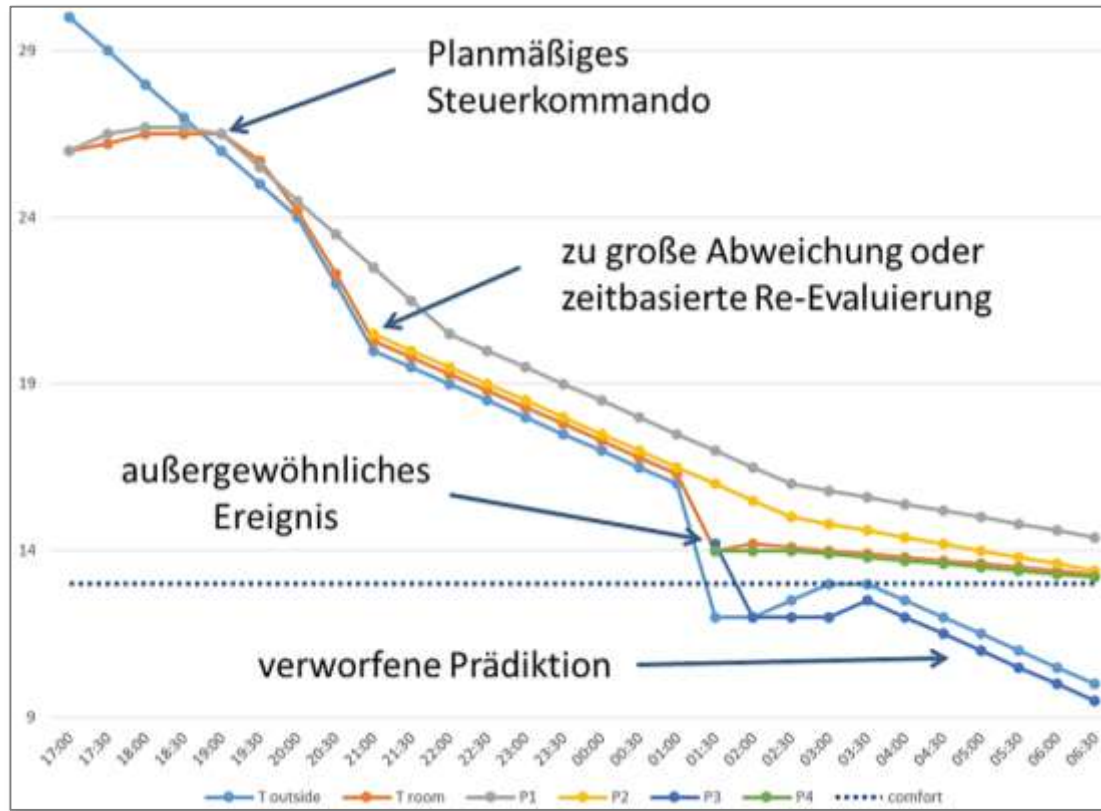
Lernphase

während des Betriebs

- Adaptierung von Modellparametern
- Adaptierung der Gewichte im neuronalen Netzwerk
- Optimierung auf Einzelraum
- Berücksichtigung von lokalen Effekten (Wärmeinseln, Bäume, ...)



Büroraum in Krems, Österreich



(Erwartetes) Ergebnis:

Grundlagen für ein selbstlernendes Regelmodell zur Raumkühlung von Bestandsgebäuden mit minimal invasiven Maßnahmen zur Steuerung der Verschattung und Fensterlüftung entwickeln, testen und evaluieren

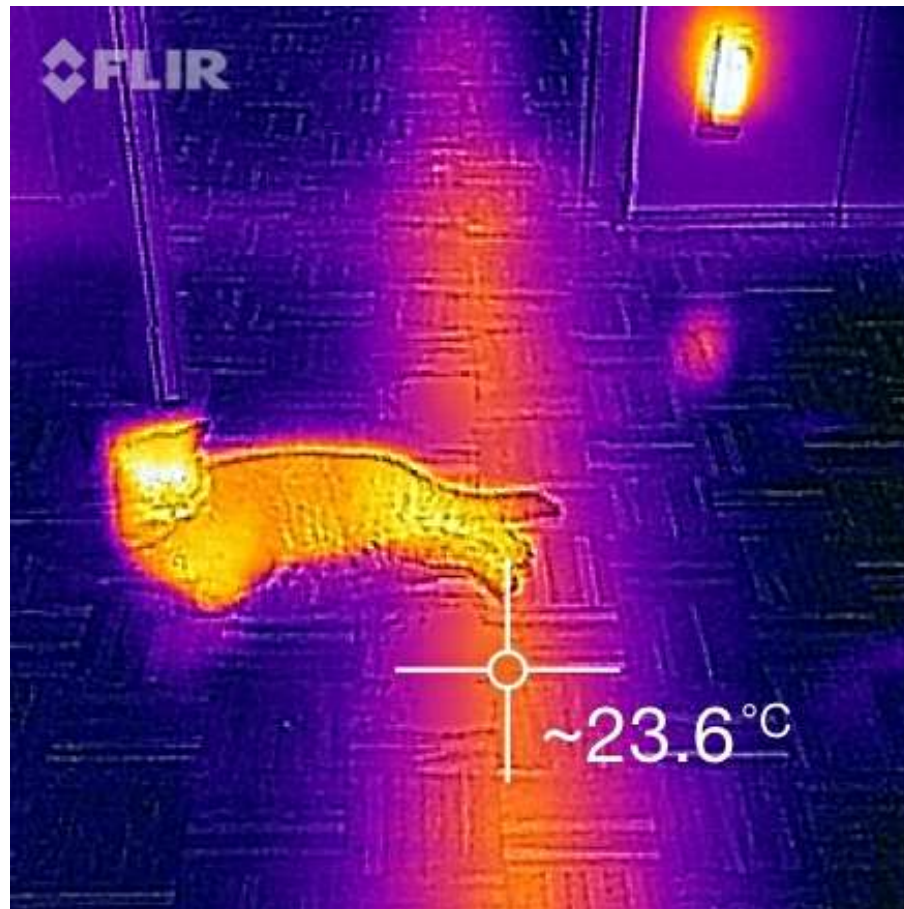
Conclusio

Rolle der Thermografie

Raumkühlung – messen . simulieren . regeln

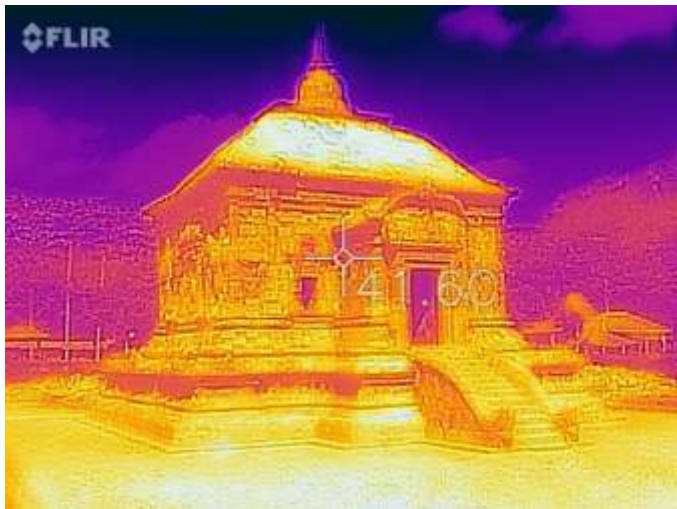
- Die Regelung der Raumkühlung ist ein **Zusammenspiel von Klima, Gebäude, Technik, Nutzung und Nutzer**
- **Simulationen** bilden nur einen **beschränkt** definierten, möglichen Einzelfall ab
- Das **Nutzerverhalten** ist ein wesentlicher Einflussparameter in der Messung, Simulation und Regelung der Raumkühlung
- **Regelungen** müssen sich an Einflussparameter **anpassen** (können)

- **Ressourcen und Potenziale zur thermischen Raumkonditionierung sollen erkannt und sensibel genutzt werden**



Thermografie in der Bauforschung

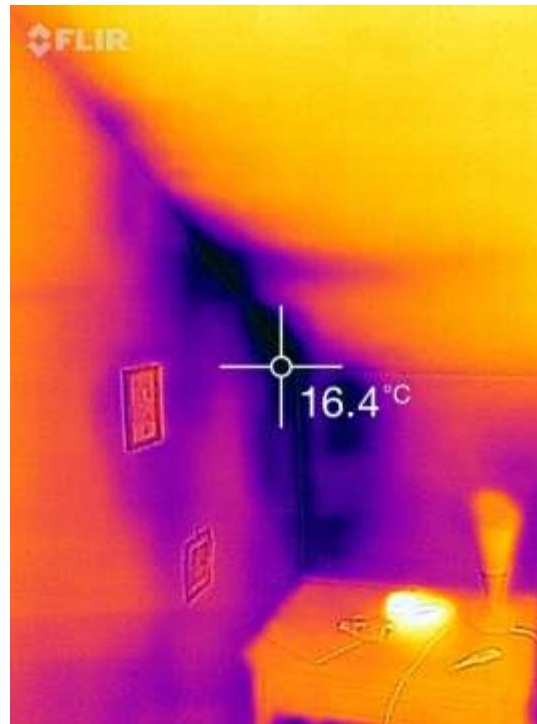
Tempel bei Yogyakarta, Indonesien



Thermografie in der Bautechnik

Temperaturverteilung an der Gebäudehülle

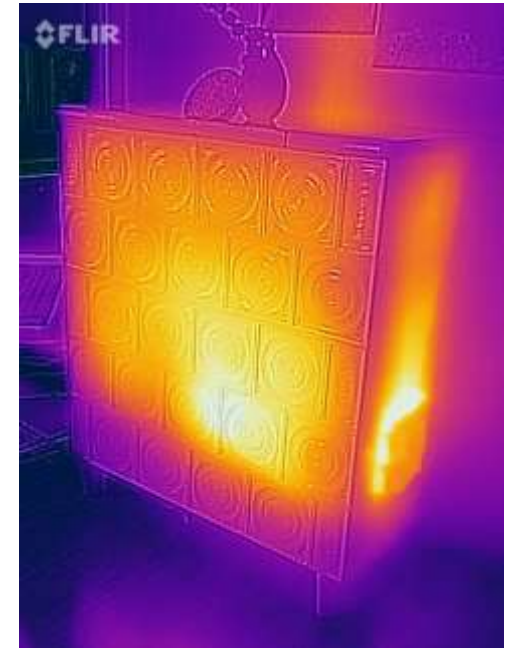
- sofortige, rasche und differenzierte Information über die **Ist-Situation**
- zeigt die **Verteilung von Temperaturen** an den Hüllflächen, die so nicht oder nur sehr aufwendig simuliert, gemessen, dargestellt werden kann



Thermografie in der Heizungstechnik

Temperaturverteilung bei Wärmeabgabesystemen

- sofortige, rasche und differenzierte Information über die **Ist-Situation**
- zeigt die **Verteilung von Temperaturen** an den Hüllflächen, die so nicht oder nur sehr aufwendig simuliert, gemessen, dargestellt werden kann





Thermografie in der Lehre



Thermografie in der Lehre

