Seeklima und Tourismus

Herausforderungen und Maßnahmen zur Klimastabilisierung (Teil 2)

Harald Garrecht, Simone Reeb, Christian Renner

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage

Universität Stuttgart



Foto: Ulli Gnoth



Foto: Hannes Kilian: Otto Dix vor seinem Haus in Hemmenhofen (1961)

Inhalt

- Seeklima und Tourismus –
  Einfluss auf Raumklima und Ausstattung
- Analyse und Bewertung klimabedingter Beanspruchungen
- Verbesserung der raumklimatischen Verhältnisse
- Beispiel St. Georg Reichenau
- Beispiel Museum Haus Dix
- Zusammenfassung

Einflüsse auf das Raum- und Nahfeldklima

Besucher / Tourismus

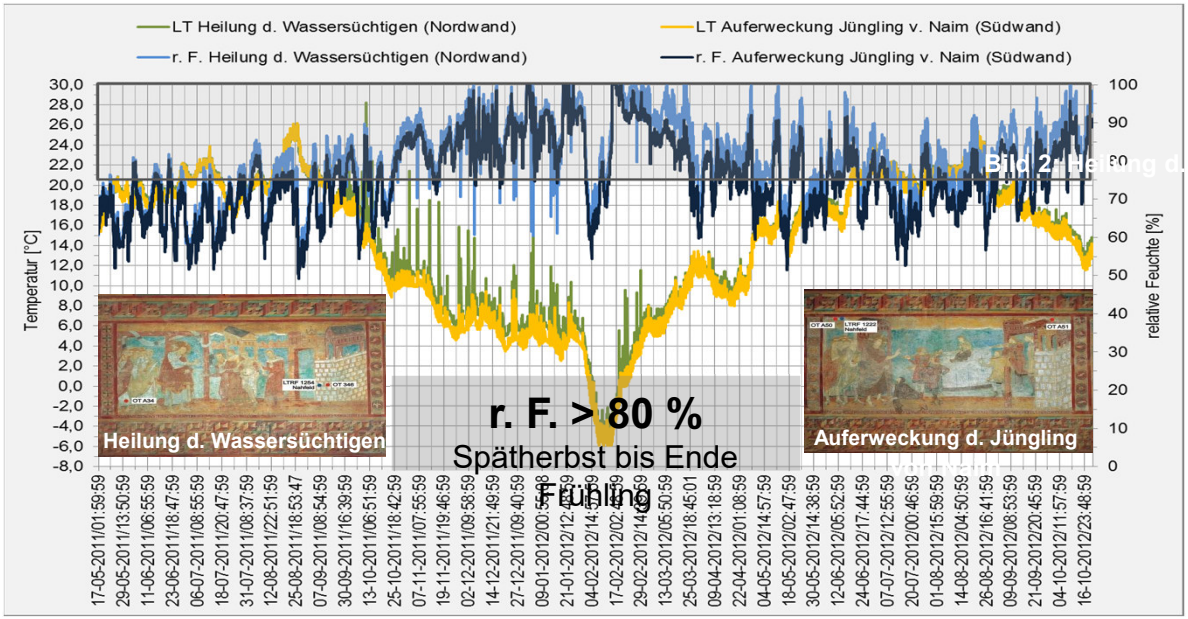
Seeklima / Witterung

Raumluftkonditionierung

direkte Besonnung







Beanspruchung von Oberflächen

Beispiel Tauwassergefahr Krypta St. Georg

Universität Stuttgart

MOCult

Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage



Status Quo Erfassung und Bewertung

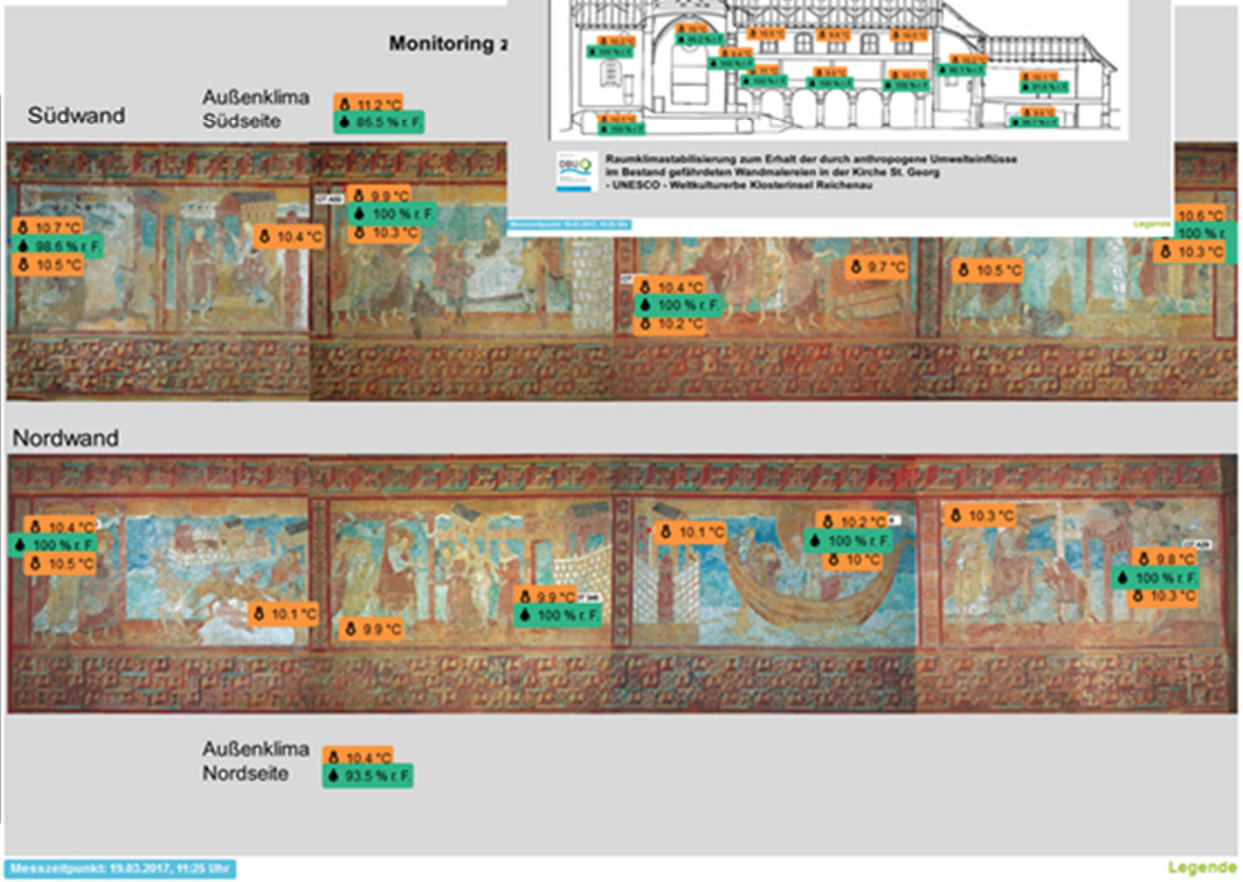
Beispiel Monitoringportal „St. Georg Insel Reichenau“

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage

Im Monitoringportal (https://mmp.mocult.de) können die aktuellen Messdaten, der Status der Aktoren, die Messdatenhistorie und die Bewertung der Daten bzgl. Schimmel, Salz, Tauwasser usw. eingesehen werden.





Anforderungen an das Raum- und Nahfeldklima

Beispiel Kirche und Krypta St. Georg Insel Reichenau

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage

Ort	Mechanismus	Feststellungen	anzustrebende Raumfeuchte (qualitativ)	zu fordernde Raumluftfeuchte (quantitativ)
Kirche	Schimmelpilz-wachstum	Cladosporium	unterhalb der Grenze für Auskeimung und Wachstum	< 84 % r.F.
	sorptionsbedingte Formänderungen	sorptionsfähiger Oberflächenverbund durch kaseinhaltige Lasur auf kalkgebundener Wandmalerei	gleichbleibend; mit fallender Außentemperatur leicht steigend zur Minimierung Energiekosten und begrenzter Wärmeleistung Heizung	20 °C / 70 % r.F. 15 °C / 75 % r.F. 10 °C / 80 % r.F. 5 °C / 85 % r.F.
Krypta	Schimmelpilz-wachstum	Engyodontium album und Actinomyceten	unterhalb der Grenze für Auskeimung und Wachstum	Werte nicht bekannt Bislang bewährte Annahmen: → 20 °C / < 73 % r.F. Belüftung aktiv → 10 °C / < 75 % r.F. teilweise Belüftung → 5 °C / < 85 % r.F. Fenster geschlossen
	bauschädliche Salze	KNO_3 $NaNO_3$ $MgSO_4\,6H_2O$	Orientierung an Deliqueszenzfeuchte KNO_3 < 90 % r.F. $NaNO_3$ < 75 % r.F. $MgSO_4\,6H_2O$ < 60 % r.F.	Anlehnung an Anforderung Schimmel-wachstum, da ansonsten zu starke Trocknung, die hohe Energiekosten und deutliche Unterschreitung der Delique-szenzfeuchte mit starken Ausblühungen bewirken würde
	aufsteigende Feuchte	Westwand hohe Feuchtelast	keine zu starke Absenkung wegen Trocknung und Salzanreicherung	70 % r.F. bis 80 % r.F. um leichte Trocknung zu ermöglichen
	sorptionsbedingte Formänderungen	geringes Formänderungs-bestreben der kalkgebundenen Malerei	Gleichbleibend mit Außenklima gleitend	15 °C / 85 % r.F. 10 °C / 80 % r.F. 5 °C / 80 % r.F.

Analyse und Bewertung der Nahfeldbeanspruchung und Einleitung von geeigneten Maßnahmen zur Raumklimaverbesserung

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage

Messwerte

- Innenraum: Temperatur, Feuchte, Oberflächentemperatur, Strömungen etc.
- Außen: Witterungsverhältnisse
- MSR / TGA: Betriebszustände

Zielsetzung

- Klimastabilität innerhalb Zielkorridor
- Vermeidung Tauwasserausfall, Schimmelpilzbildung, Staubbelastung
- Vermeidung Phasen- und Hydratstufenwechsel von Salze



- Belüftung durch Fensteröffnung / Abluftkamin / Abluftkamin mit integriertem Lüfter
- Betrieb Sitzbankheizung (Kirche) &
  6 Rippenheizrohre Krypta (4 in Krypta und 2 im Zugang zur Krypta)
- Unterstützung Besucherlenkung

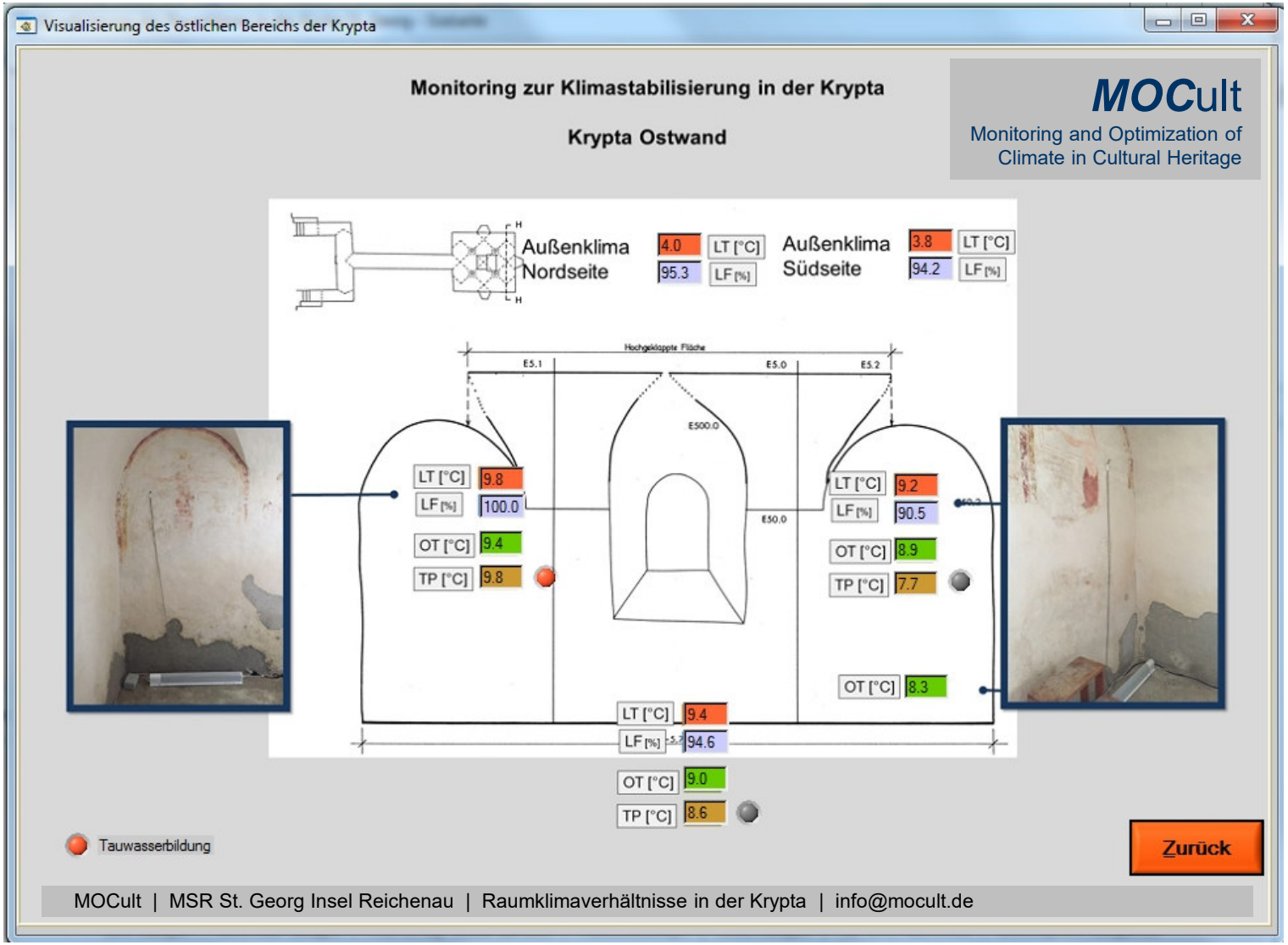
Maßnahmen am Beispiel St. Georg

Beispiel St. Georg - Raumklima in Krypta

Klimamonitoring und Tauwasserbewertung

Universität Stuttgart

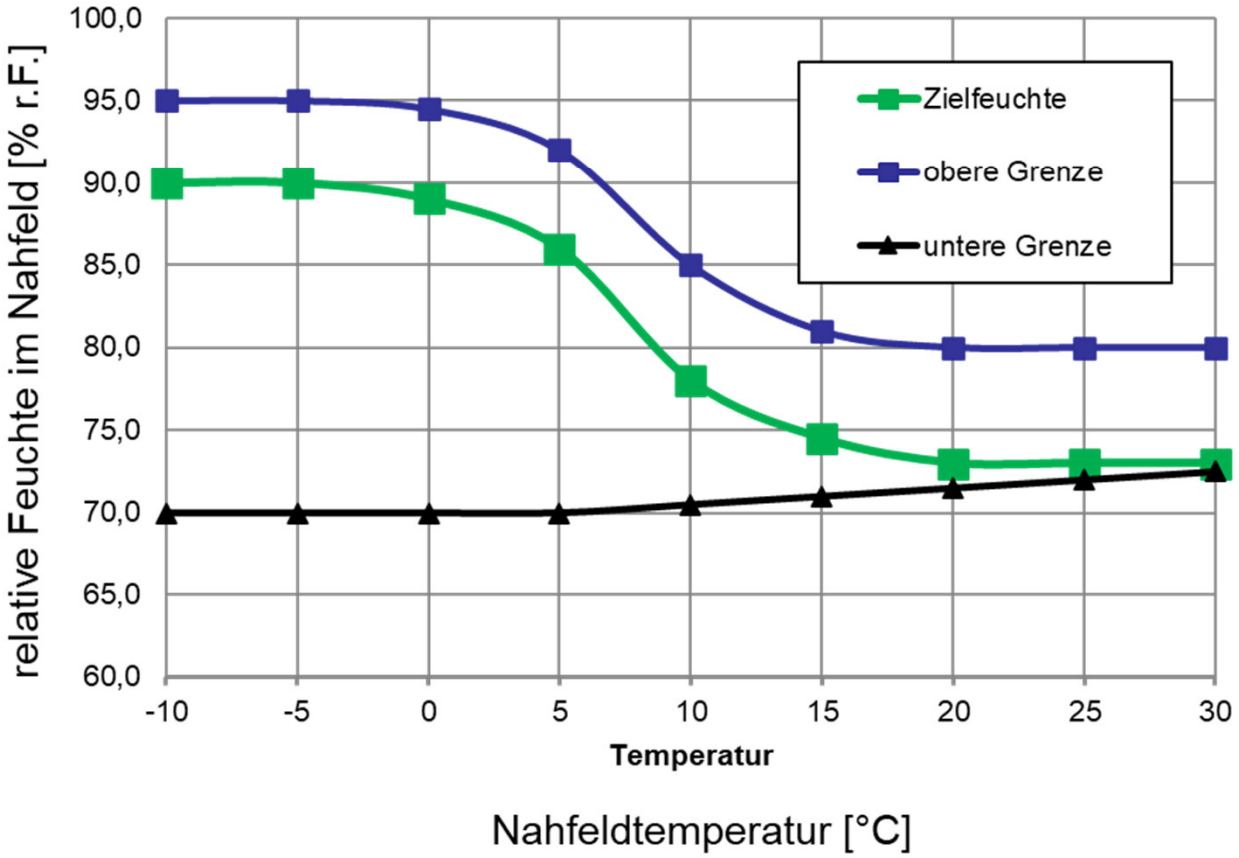
MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage



Temperaturabhängige Zielfeuchte in Krypta

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage



Grenzbedingungen für Feuchte: n Krypta

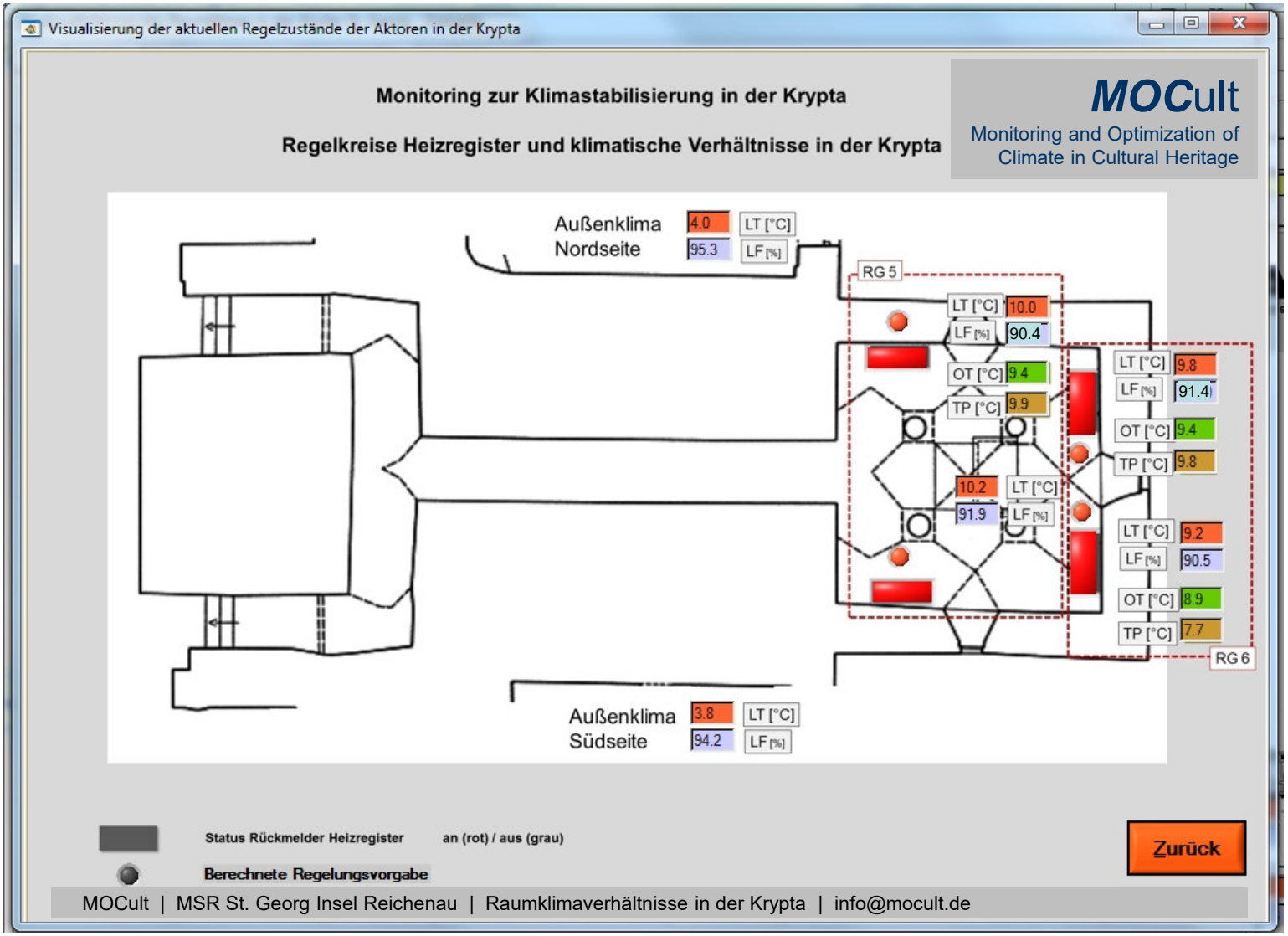
	untere Grenz-feuchte [% r.F.]	obere Grenz-feuchte [% r.F.]	Ziel-feuchte [% r.F.]
0°C	Tu 70.0	To 95.0	Tzf 90.0
5°C	Tu 70.0	To 92.5	Tzf 87.5
10°C	Tu 70.5	To 85.0	Tzf 78.0
15°C	Tu 71.0	To 80.0	Tzf 75.0
20°C	Tu 71.5	To 80.0	Tzf 73.0
25°C	Tu 72.0	To 80.0	Tzf 73.0
30°C	Tu 72.5	To 80.0	Tzf 73.0



Regelsituation am 20. März 2017 14:28 Uhr

Universität Stuttgart

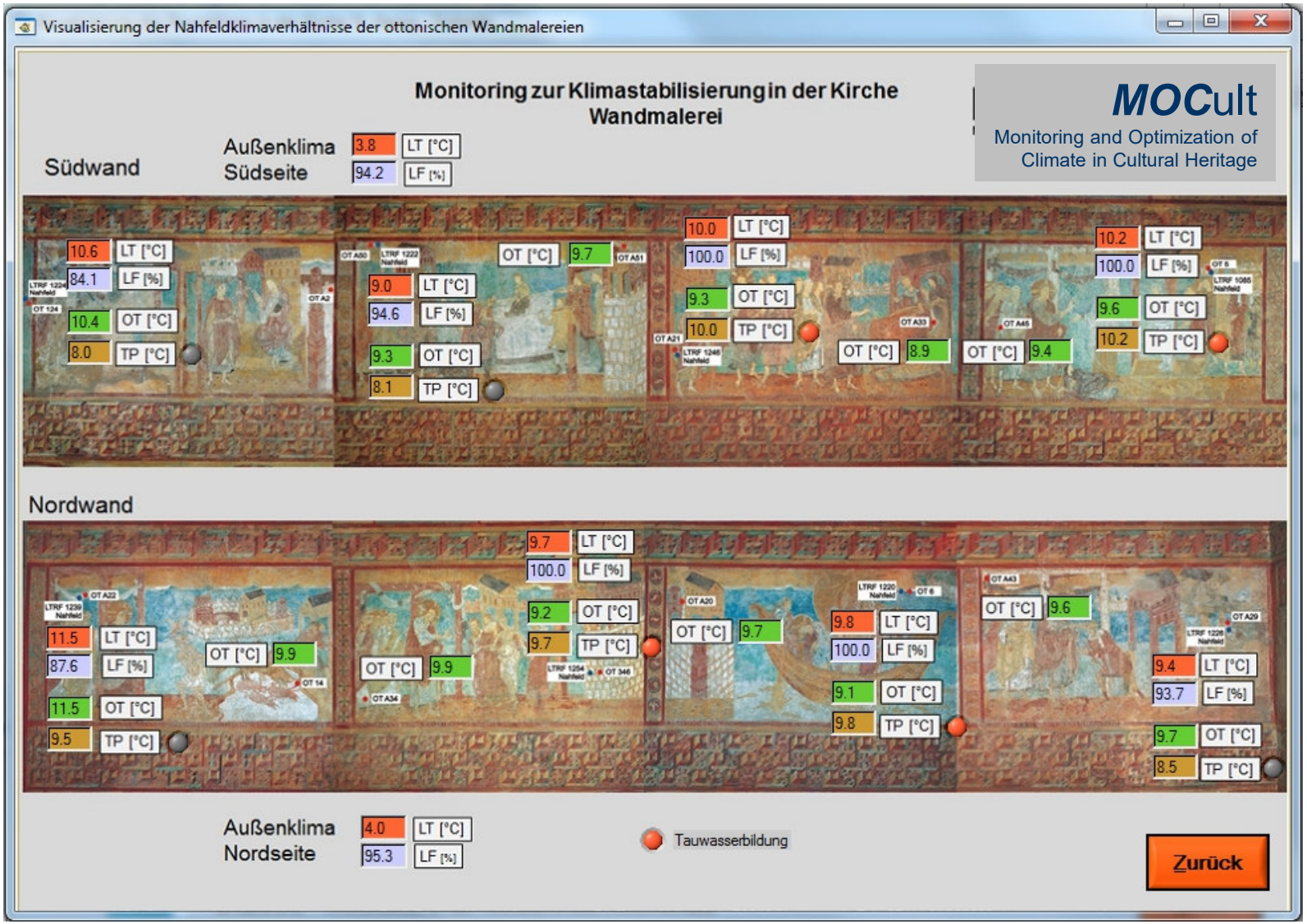
MOCult
Monitoring and Optimization of
Climate in Cultural Heritage



Raumklimabedingte Beanspruchung an der Wandmalerei infolge Seeklima

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage



Herausforderungen Raumluftverbesserungen

Vermeidung von Schäden an Wandmalerei

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage

Vermeidung einer Schädigung infolge

- Schimmelpilzwachstum
- Tauwasserbildungen
- hygrische und thermische Formänderungen
- Aufwirbelung, Transport und Ablagerung von Staubpartikeln

Mögliche Maßnahmen

- kontrollierter Luftwechsel mittels elektrisch öffen- und schließbarer Fenster
- bedarfsangepasste Temperierung mittels bedarfsangepasstem Betrieb Sitzbankheizung

Gewinnung der Akzeptanz von Kirchengemeinde

- hinreichende Behaglichkeit bei Aufenthalt in Kirche
- Begrenzung bzw. Minimierung der Betriebskosten

Effizienter Energieeinsatz

- Minimierung der Zufuhr von elektrischer Energie von außen
- Schonung von Ressourcen

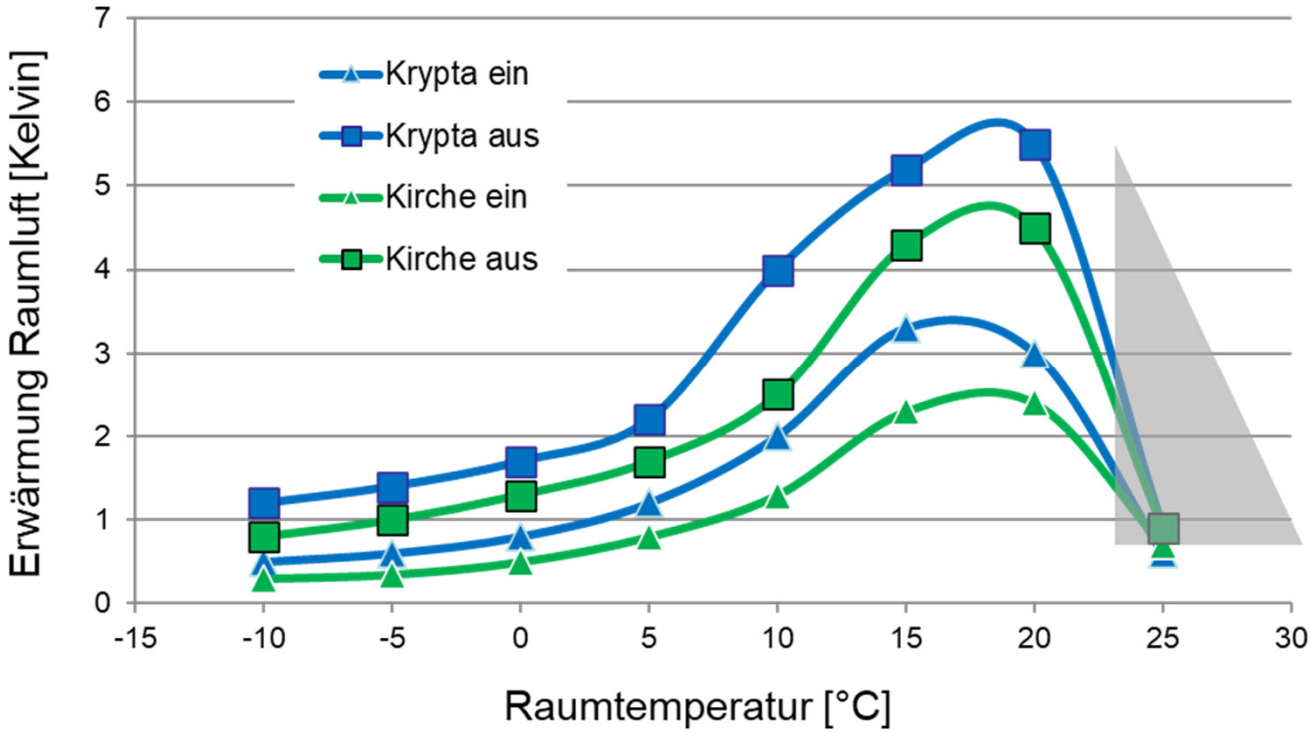
Regelstrategie für den konservierenden Betrieb der Sitzbankheizung

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage

Lässt sich mit der Fensterlüftung alleine die Raumluft nicht in den Zielklima-korridor führen und führt das an der Malerei vorherrschende Nahfeldklima zu einer kritischen klimabedingten Beanspruchung eine bedarfskontrollierte:

- Aktivierung der Heizregister in der Krypta
- Aktivierung der Sitzbankheizung in der Kirche



Annahmen, die den Berechnungen der Erwärmung der Raumluft zur Erreichung der Zieltemperaturen zugrunde liegen:

- Seeklima und Witterung bewirken in der Krypta bzw. in der Kirche eine Raumfeuchte von 100 % r.F.
- Sitzbankheizung war nicht aktiviert
- Inbetriebnahme und bedarfsgerechter Betrieb der Sitzbankheizung um innerhalb Zielklima zu kommen

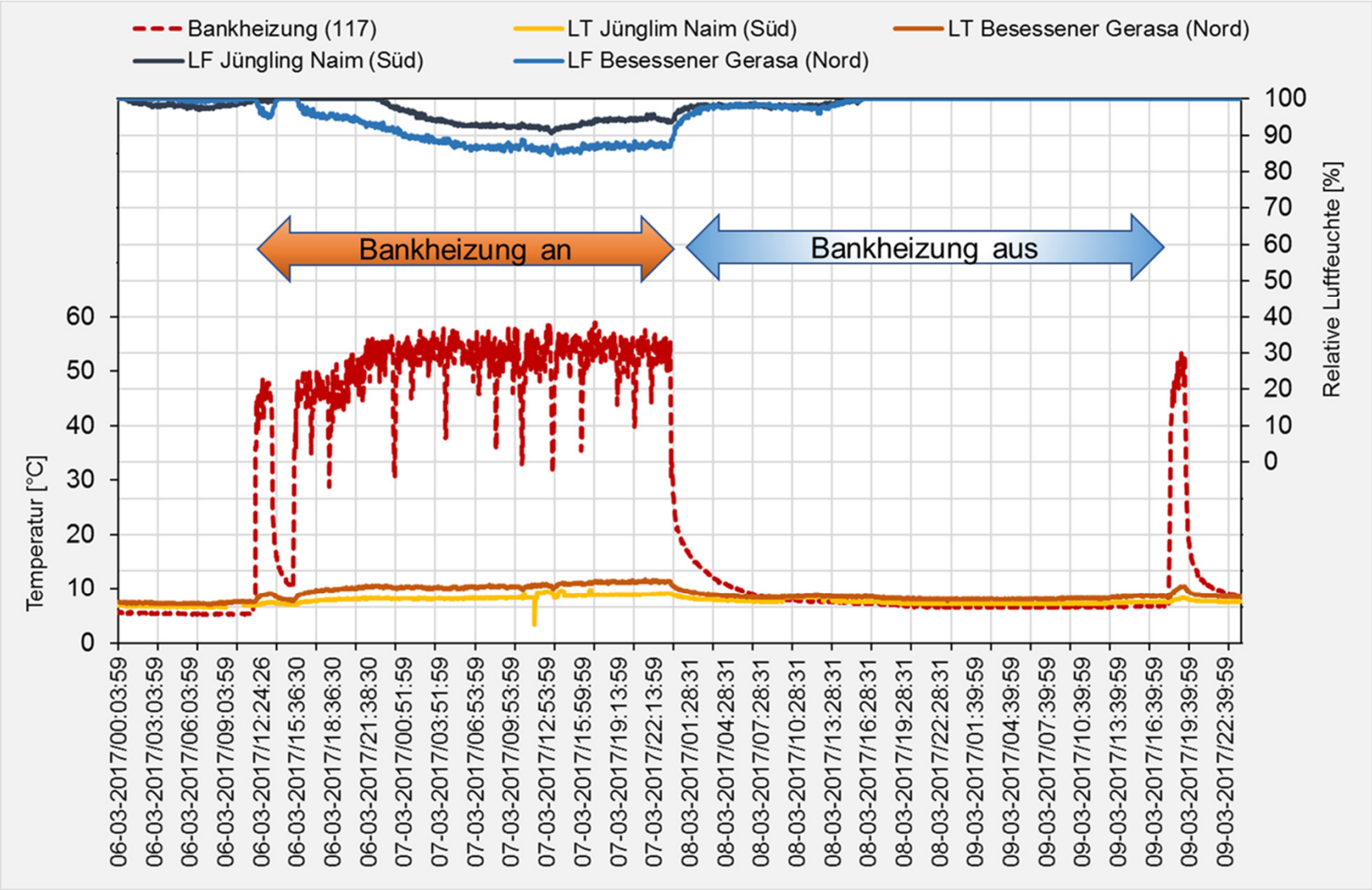
Raumluftverbesserung durch Sitzbankheizung

Erprobung der Wirkintensität des Heizbetriebs

Universität Stuttgart

MOCult

Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage



Abschätzung der Energiekosten

Minimaler Temperierbetrieb

Kirche:	**Krypta:**
Heizleistung Sitzbankheizung	
Q_{SBH} = 30 kW_{el}	Q_{SBH} = 6 kW_{el}
Energiekosten pro Betriebsstunde:	
P = 40 ct/kWh (Haushaltsstrom)	
Q_{SBH} = 30 kW_{el}	
K_h = 0,40 * 30 = 12,00 € / h	K_h = 0,40 * 6 = 2,40 € / h
Betriebskosten je Tag bei durchgehendem Betrieb	
K_d = 288,00 €/d	K_d = 57,60 €/d

Ziel: *Begrenzung der Temperierphasen auf möglichst kurze Zeitabschnitte in denen Temperierung zur Vermeidung von Schäden unverzichtbar ist*

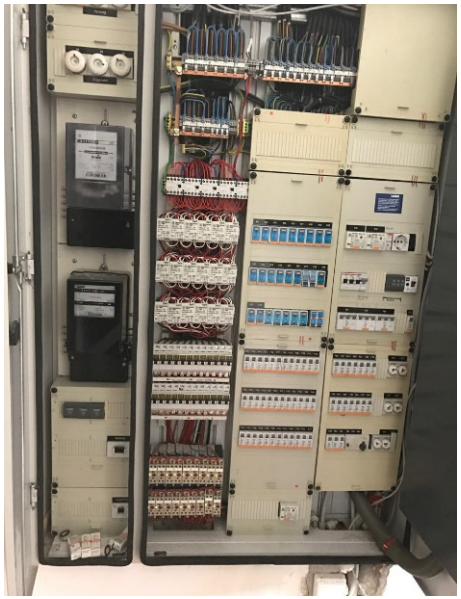
Geschätzte Jahresbetriebsstunden Heizung	
t_{Kirche} = 500 h	t_{Krypta} = 800 h
K_{500h} = 500 * 7,50 = 6.000 €/Jahr	K_{800h} = 1.920,00 €/Jahr

Kostenübernahme: ??? - Betrieb während Gottesdienst versus Substanzerhalt

Ausblick St. George Insel Reichenau

- Erneuerung der Sitzbankheizung und der elektrischen Versorgungsleitungen nebst Umbau des elektrischen Schaltschranks *(weitestgehend abgeschlossen)*
- Reduktion der Sensoren auf das Nötigste *(abgeschlossen)*
  (3 Nahfeldsituationen je auf Süd- und Nordseite an Malerei)
- Anpassung und Optimierung der Regelstrategie nicht zuletzt bzgl. einer Minimierung des Energieeinsatzes für den Betrieb der Heizsysteme in Krpyta und Kirche *(Gegenstand aktueller Arbeiten)*
- Entwicklung und Integration einer prädiktiven Regelung der ansteuerbaren Fenster und der elektrischen Heiz-systeme um im Vorfeld plötzlicher Wetterveränderungen die träge Bauwerksmasse prädiktiv anzupassen und vorzubereiten *(Fertigstellung Herbst 2023)*





Otto Dix - ein Wohnhaus wird Museum





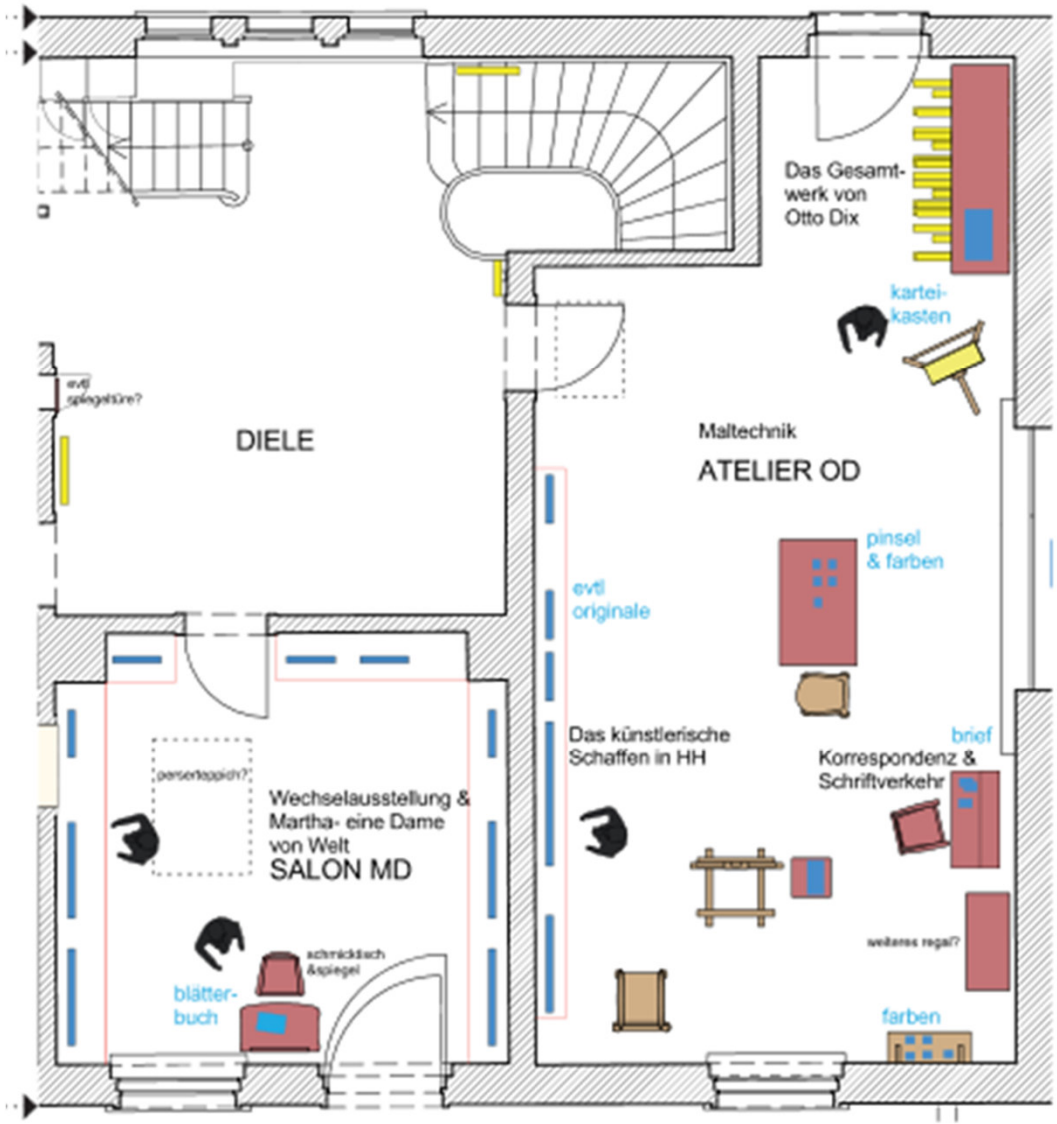




Klimakonditionierungskonzept TGA-Planung

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of
Climate in Cultural Heritage



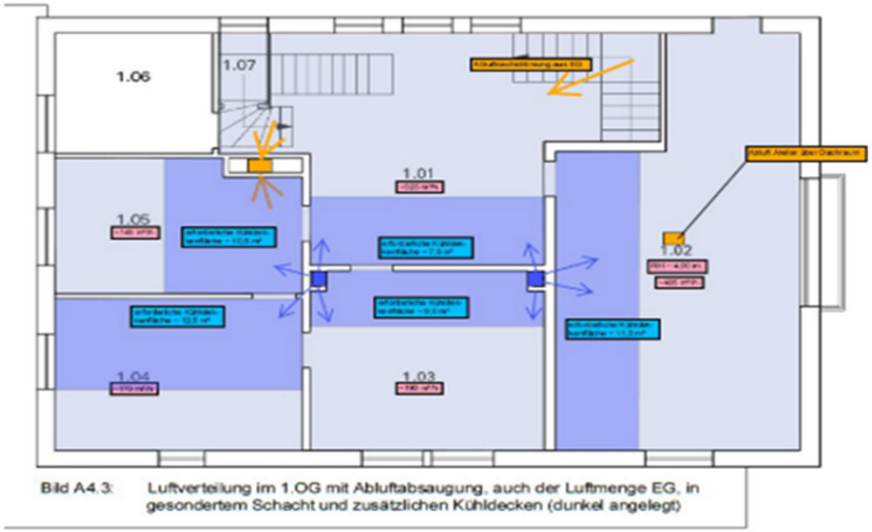


Bild A4.3: Luftverteilung im 1.OG mit Abluftabsaugung, auch der Luftmenge EG, in gesondertem Schacht und zusätzlichen Kühldecken (dunkel angelegt)

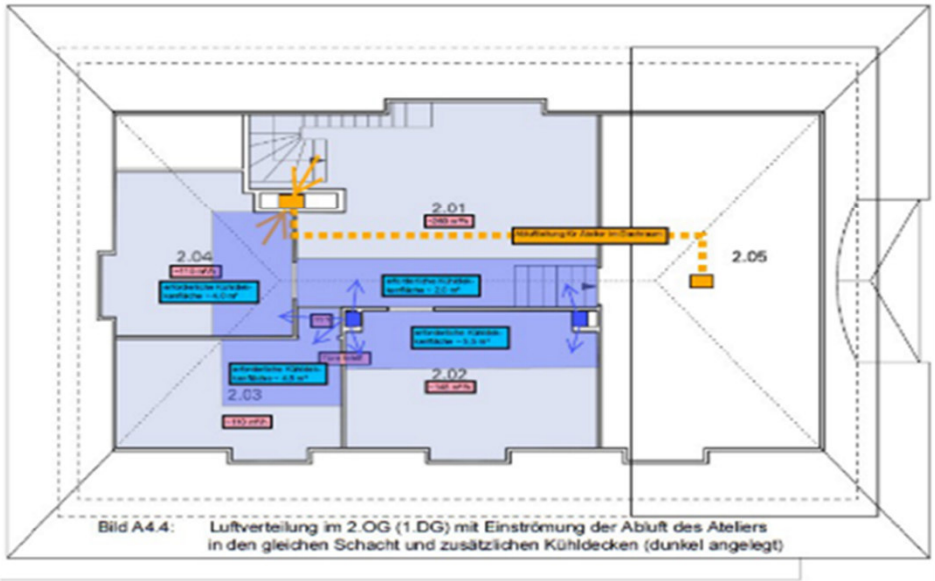


Bild A4.4: Luftverteilung im 2.OG (1.DG) mit Einströmung der Abluft des Ateliers in den gleichen Schacht und zusätzlichen Kühldecken (dunkel angelegt)

Alternatives Konzept (MOCult)

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of
Climate in Cultural Heritage



Salon Martha Dix
Blick nach Norden (R. 1.03)



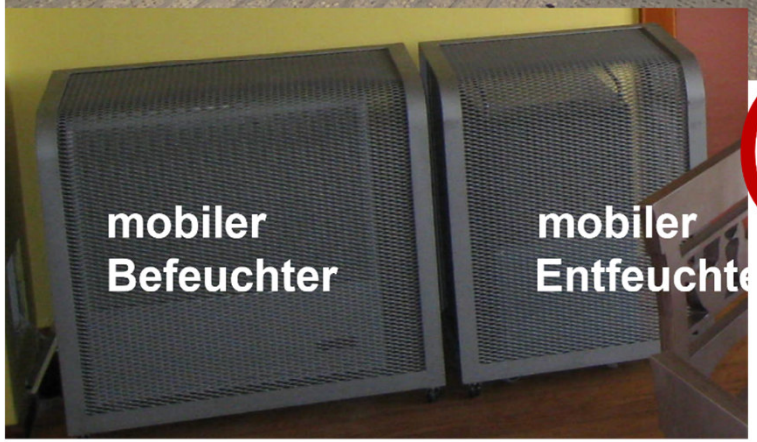
Salon Martha Dix
Blick nach Süden (R. 1.03)

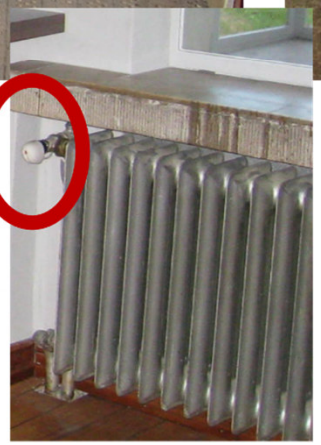
Low-Budget-Lösung mit bedarfsangepasster Wärme- und Feuchtekonditionierung durch kontinuierliche Erfassung und Bewertung der Messdaten

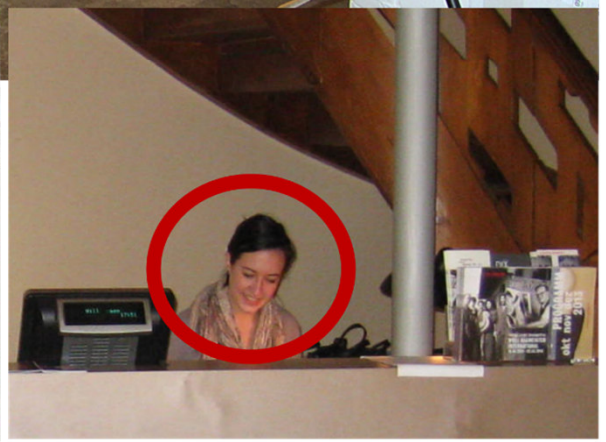
Technikzentrale und regelbare Aktoren







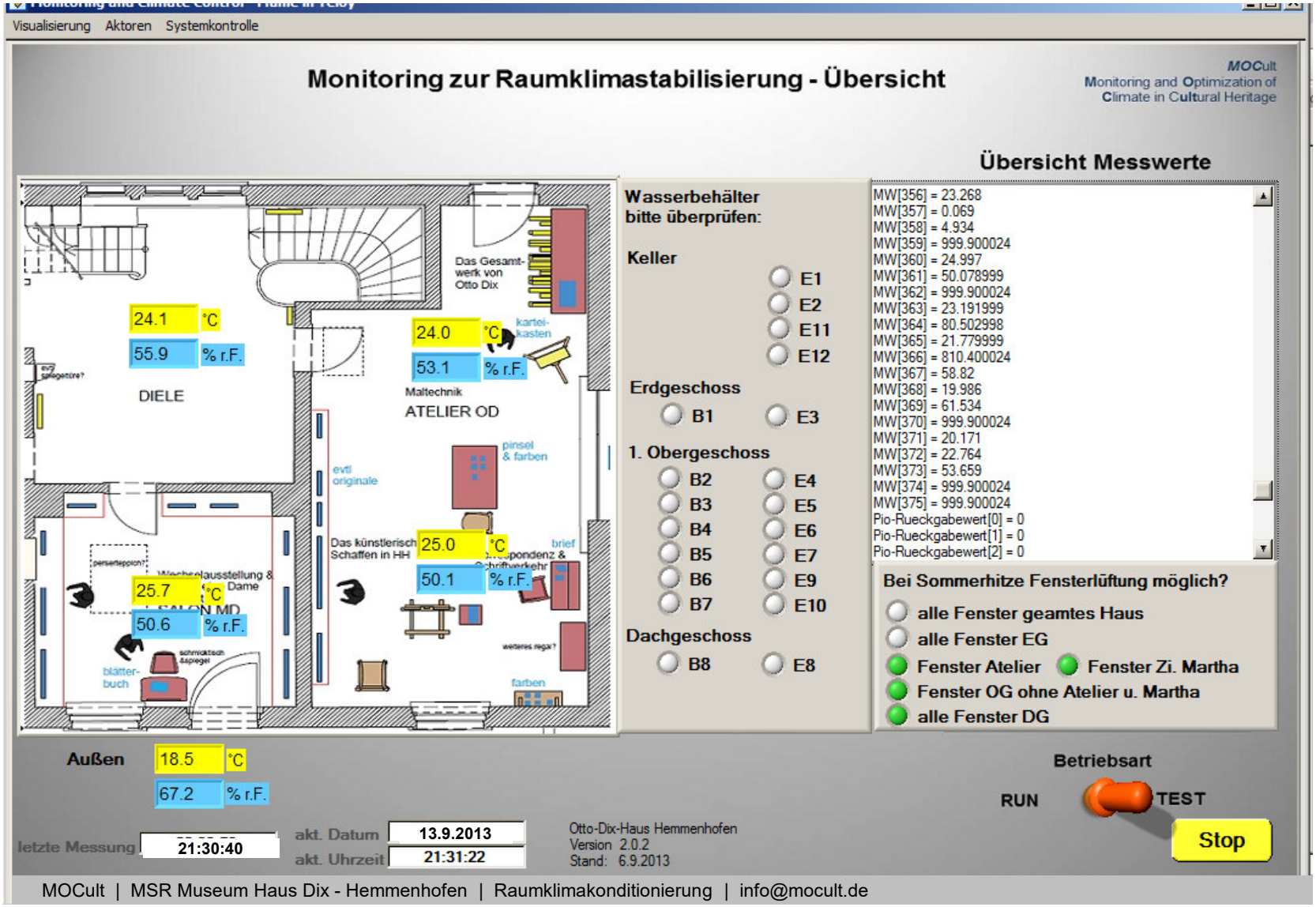




Die MSR-Schaltzentrale

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of
Climate in Cultural Heritage



Herausforderung Wandmalereien im Keller

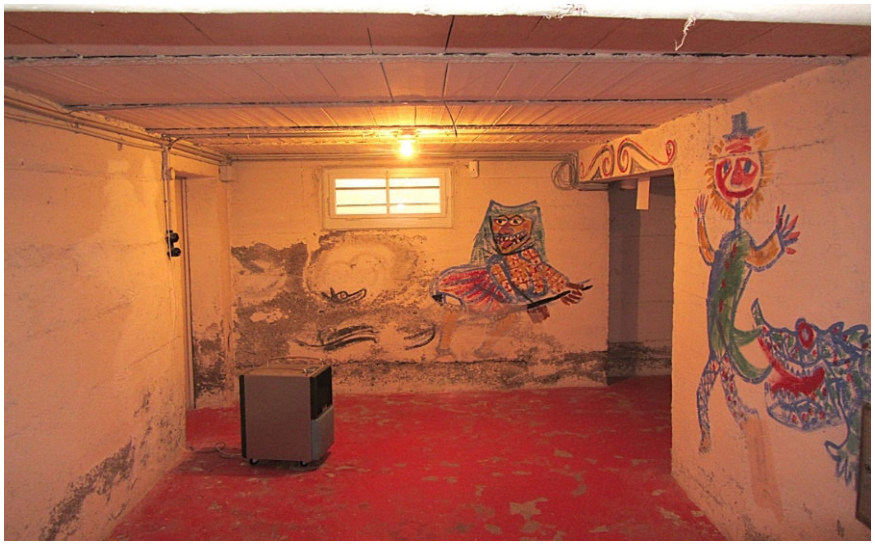
Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage





Das besondere Schmankerl im Haus Dix

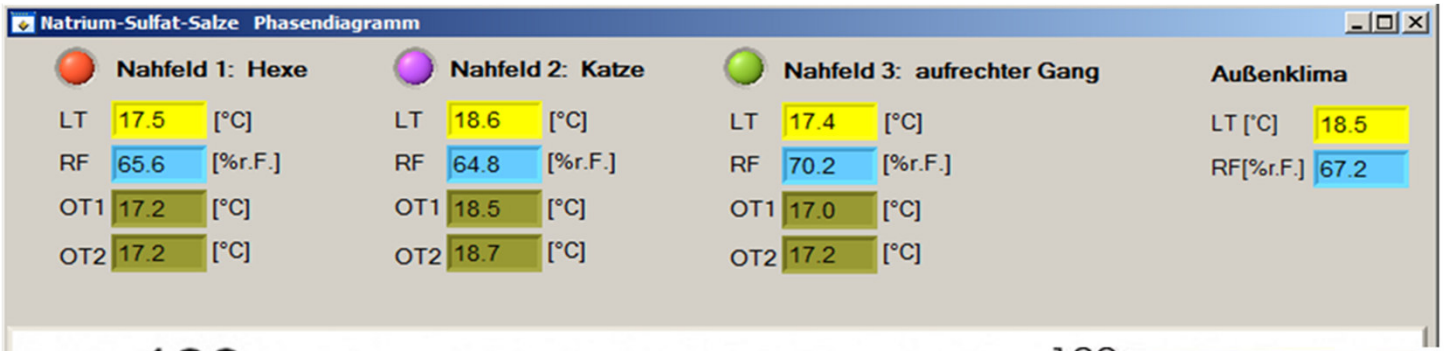


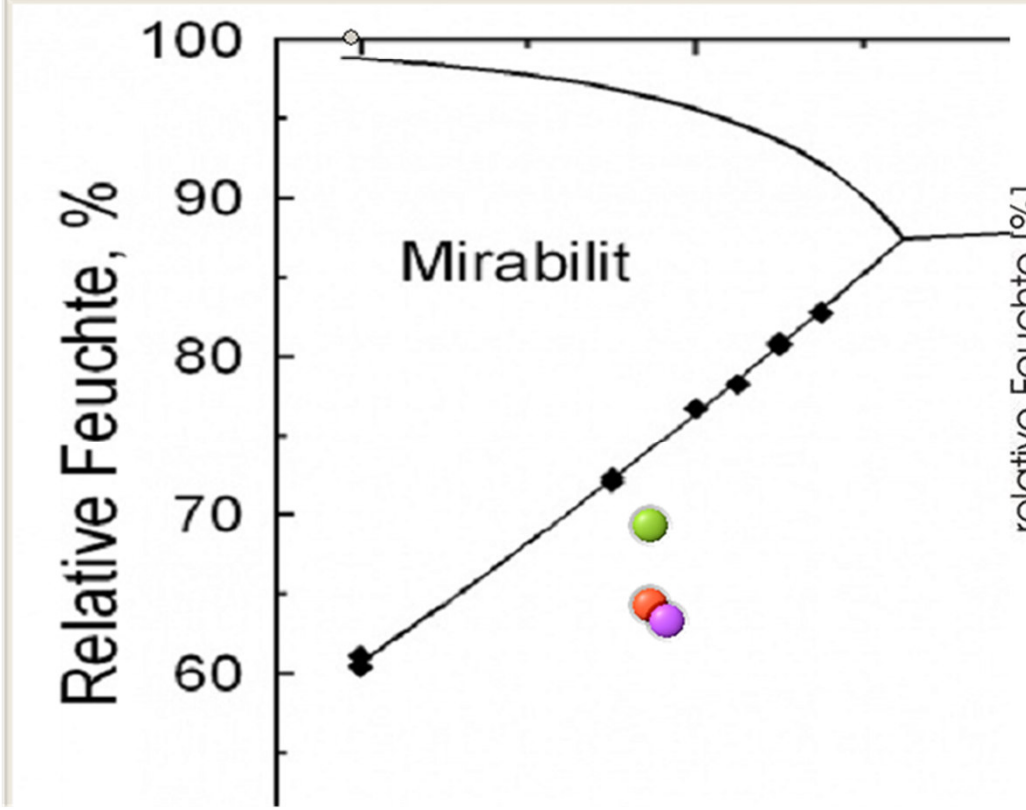


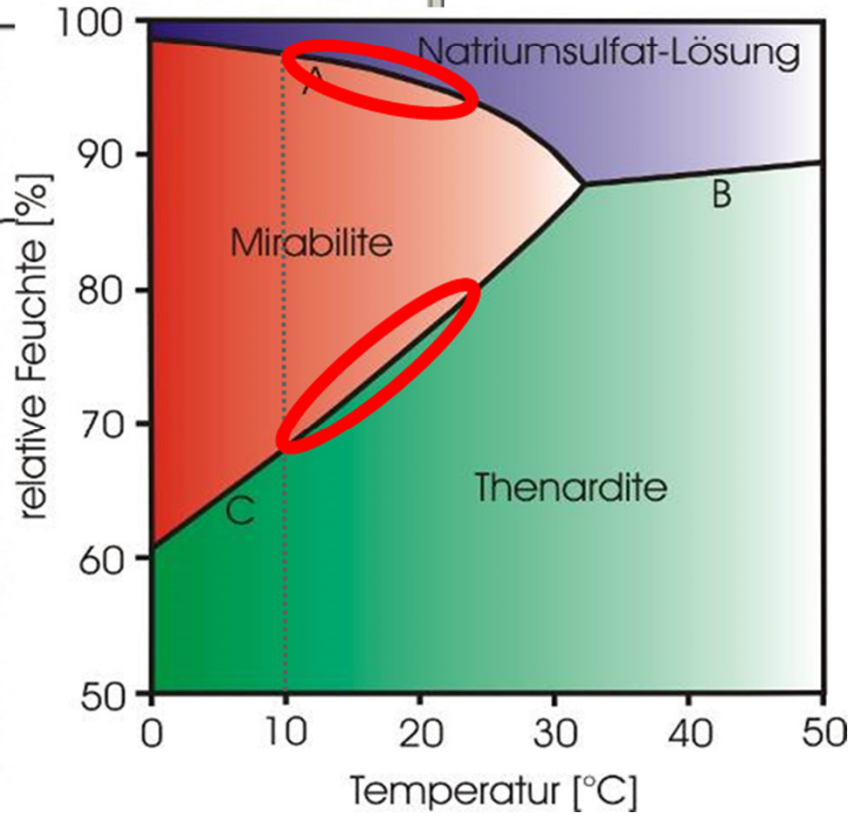
Seeklimabedingte Beanspruchung und Vermeidung von Salzhydratphasenwechsel

Universität Stuttgart

MOCult
Monitoring and Optimization of Climate in Cultural Heritage









„Mit einfachen Mitteln und moderatem Technikeinsatz
die Klimaziele in historischen Räumen sicherstellen“
Vielen Dank ☺