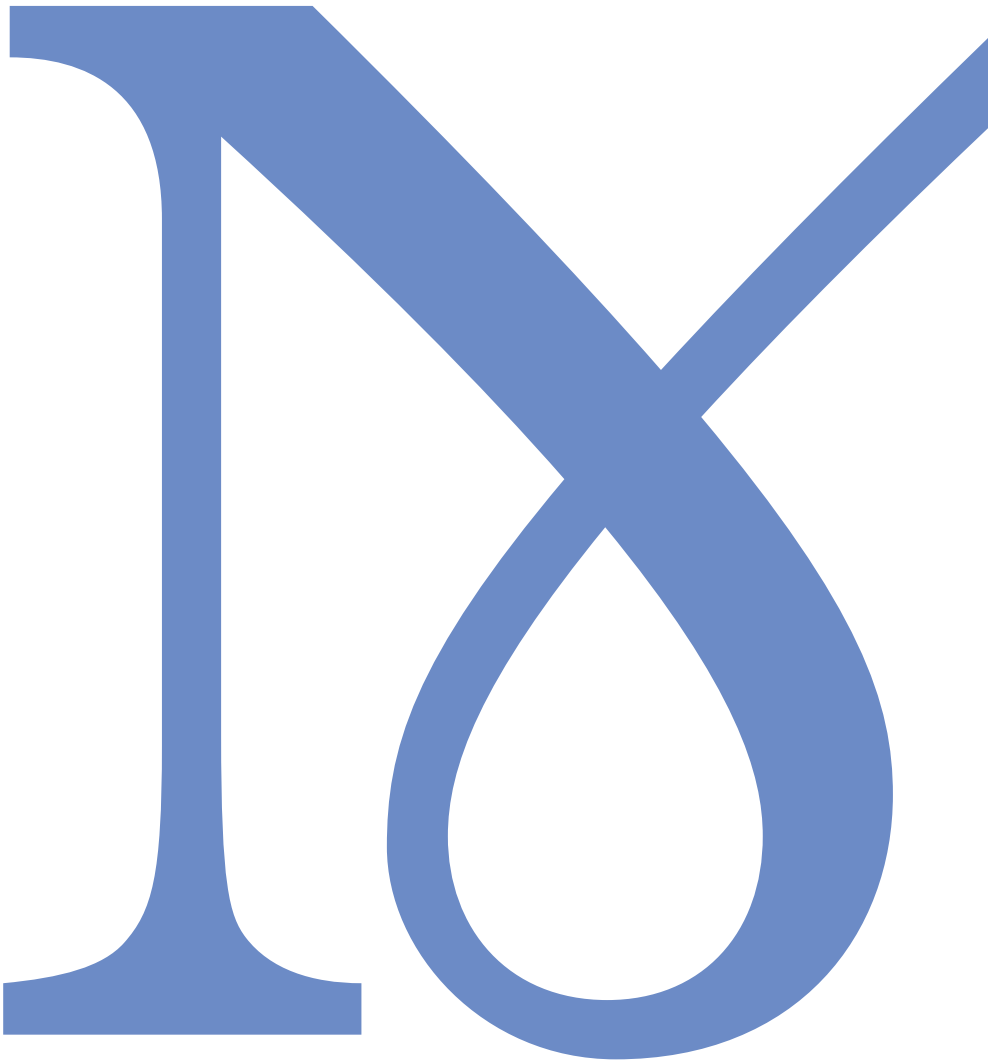


**Empfehlungen für das  
Raumklimamonitoring im Museum**



## **Empfehlungen für das Raumklimamonitoring in Museen**

**Das Raumklimamonitoring als Begleitinstrument für die Umsetzung des erweiterten Klimakorridors und als Grundlage für Transparenz und Nachhaltigkeit.**

### **Inhalt**

Impressum .....	2
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>3</b>
1.1 Warum Empfehlungen für ein Raumklimamonitoring? .....	3
1.2 Was leistet das Klimamonitoring?.....	3
<b>2 Klimakorridor – Kontext und Definition für diese Empfehlung .....</b>	<b>4</b>
2.1 Kontext des Handlungsbedarfs .....	4
2.2 Definition erweiterter Klimakorridor .....	5
2.3 Depots .....	6
<b>3 Klimamonitoring und Nachhaltigkeitsstrategien .....</b>	<b>6</b>
3.1 Passive Klimatisierung .....	6
3.2 Nachhaltige Nutzungskonzepte für das Sammlungsgut .....	6
<b>4 Vorgehen Raumklimamonitoring – messen, auswerten, dokumentieren .....</b>	<b>7</b>
4.1 Definition Raumklimamonitoring.....	7
4.2 Logger (technische Vorgaben, vgl. auch 5.1).....	7
4.3 Messpositionen (vgl. auch 5.1) .....	7
4.4 Auswertung .....	8
4.5 Datenaustausch im Leihverkehr .....	8
4.6 Potential für Klimaanpassungen.....	9
<b>5 Praxisbeispiele zur Datenerfassung und Auswertung .....</b>	<b>9</b>
5.1 Thierry Jacot: Umsetzung des Raumklimamonitorings im Museum .....	10
5.2 Matthias Läuchli: Auswertung Raumklimamonitoring Kunstmuseum Bern.....	13
5.3 Markus Gross, Stefan Waldhauser, Sven Eiche: Raumklimamonitoring in der FondationBeyeler; Riehen/Basel .....	15

## **Impressum**

2022 initiierte ICOM Schweiz die Plattform Museumsklima als Austauschformat für Museumsfachleute. Darin formierte sich die AG Messstrategie, die für diese Empfehlung zeichnet. Die unten genannten Personen waren als Fachleute an der Ausarbeitung dieser Empfehlungen beteiligt. Sie lässt keinen Rückschluss auf die Klimavorgaben in den beteiligten Institutionen zu.

### Redaktion

- Nathalie Bäschlin Dr. (Koordination), Chefrestauratorin Kunstmuseum Bern, Dozentin Konservierung und Restaurierung, Hochschule der Künste Bern
- Kilian Anheuser Dr., Konservator für präventive Konservierung, Musée d'ethnographie de Genève, Genf
- Sven Eiche, Leiter Technik und Infrastruktur Fondation Beyeler, ISS Facility Services AG
- Silvio Frigg, Leiter Zentrale Dienste, Stiftsbibliothek St. Gallen
- Markus Gross, Chefrestaurator Fondation Beyeler
- Thierry Jacot, Dozent, Haute Ecole Arc – Konservierung-Restaurierung, Neuenburg
- Matthias Läuchli, Läuchli Restaurierung Wallisellen und Restaurator Kunstmuseum Bern
- Betty Sacher, Leiterin Sammlungen, Museum zu Allerheiligen Schaffhausen
- Stefan Waldhauser, Waldhauser + Hermann AG, Ingenieurbüro USIC/SIA
- Ulrich Winkelmann, Konservator und Berater Sammlungsmanagement, Bern

### Mitarbeit

- Sara de Bernardis, Chefrestauratorin, MASI Lugano
- Natalie Ellwanger, Konservierung-Restaurierung Gemälde und bemalte Oberflächen, Schweizerisches Nationalmuseum
- Rebecca Honold, Papierrestauratorin, Kunstmuseum Basel
- Nadine Reding, Atelier Reding Liebefeld
- Miriam Tarchini, präventive Konservierung, Museum Murten

### Herausgeber

ICOM Schweiz, Konradstrasse 14, 8005 Zürich

### Übersetzung

Passage Traduction (FR)

### Lektorat

Sandro Fässler (DE)

Julie Weidmann (FR)

Zürich, 12. Dezember 2024

# 1 Einleitung

## 1.1 Warum Empfehlungen für ein Raumklimamonitoring?

Das Raumklimamonitoring der Ausstellungs- und Depoträume zeichnet das Raumklima explizit nahe bei den Objekten, nahe beim Sammlungsgut auf. Es unterscheidet sich dadurch von der Klimamessung, die auf die Steuerung der Anlagen ausgelegt ist und in dieser Empfehlung nur am Rande tangiert wird. Unabhängig davon, ob ein Museum über eine Klimaanlage verfügt oder ob das Raumklima über passive Mittel und Ausnutzung natürlicher Prozesse gesteuert wird, ist das Monitoring ein etabliertes Instrument der präventiven Konservierung und zentral für die Umsetzung des erweiterten Klimakorridors.

Das Raumklimamonitoring tangiert verschiedene Aufgaben im Museum (Facility Management, Präventive Konservierung, Nutzungskonzepte, Leihverkehr). Umso mehr erstaunt es, dass die Konzepte der Datenerfassung und der Auswertung, Stand heute, sehr unterschiedlich und nicht vergleichbar sind. Somit fehlt die Transparenz, die für einen zielorientierten, auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Dialog zwischen den Abteilungen und den Institutionen notwendig ist. Die Empfehlungen für das Raumklimamonitoring sollen hier eine Lücke schliessen. Sie verstehen sich als Anstoss für die Erfassung und Auswertung aussagekräftiger und vergleichbarer Daten. Darüber hinaus sind Austauschformate gefragt, die den multidisziplinären Wissenstransfer und das Vertrauen unter den Spezialist:innen im Museum stärken. Ebenso zentral ist die Einrichtung eines spezifischen und nachhaltigen Angebots an Weiterbildungsformaten zu diesem Thema.

## 1.2 Was leistet das Klimamonitoring?

Die kontinuierliche Erfassung des Klimas in allen Räumlichkeiten, in denen Kunst- und Kulturgut ausgestellt, erforscht, konserviert und gelagert wird, bildet eine Grundlage für das nachhaltige Bewahren des Sammlungsgutes. Wenn wir das Raumklima gut verstehen, können wir die Ressourcen für die Klimasteuerung gezielter nutzen. Das Monitoring schafft die notwendige Sicherheit und Transparenz und bildet die Grundlage für die Dokumentation des Istzustandes sowie der Planung und Umsetzung von Optimierungsmassnahmen. Der erweiterte Klimakorridor (Definition vgl. 2.2) versteht sich als Empfehlung, in welchem Klimaband der überwiegende Teil (geschätzt 90%) des Sammlungsgutes ohne Risiko gelagert bzw. ausgestellt werden kann. Abhängig von der Materialzusammensetzung und vom Zustand können die Klimavorgaben innerhalb dieses Bandes weiter spezifiziert werden.

Messstrategien, die vergleichbar sind, fördern die Transparenz und das Vertrauen, nicht nur innerhalb eines Museums, sondern auch unter den beteiligten Museen (Leihnehmer- und Leihgeberinstitutionen).

## 2 Klimakorridor – Kontext und Definition für diese Empfehlung

### 2.1 Kontext des Handlungsbedarfs

Der erweiterte Klimakorridor für Museen (erweitert im Vergleich mit dem in den 1950er Jahren formulierten Standard  $50\pm 5\%$  rF) steht seit rund 30 Jahren zur Diskussion. Dabei geht es nicht um das «richtige Klima», sondern um den Rahmen, innerhalb dessen eine gewisse Klimadynamik im Kulturgutschutz zulässig ist. Die Anwendung des erweiterten Klimakorridors ergibt vor allem dann Sinn, wenn dadurch relevante Energieeinsparungen möglich werden.

Diese teilweise kontrovers geführte Diskussion hat Forschungsinitiativen angestoßen und neue Empfehlungen vorgebracht. Die Strommangellage 2022/2023, die erhöhte Sensibilität in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Fussabdruck und die verbrieftete Bereitschaft der Museen, ihren Beitrag für die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele zu leisten, bilden den gesellschaftlichen Kontext für den dringenden Handlungsbedarf.

Vgl. dazu die [aktuelle Museumsdefinition](#) und die 2019 [ICOM Resolution on Sustainability and Agenda 2030](#).

Die *Empfehlungen für das Raummonitoring* nehmen Bezug auf die Empfehlungen des [Deutschen Museumsbundes](#) von 2022. Nachfolgend ist eine Auswahl an Quellen gelistet. Sie verweisen auf aktuelle Klimastandards und auf den Forschungsstand. Im Vordergrund steht der Einfluss des Raumklimas auf die biologische, chemische und mechanische Degradation von Kulturgut.

[Neue Standards für die Museumsklimatisierung angesichts der Klimakrise](#) Stand 2023; [Environmental guidelines](#) ICOM-CC and IIC 2014; [Environmental guidelines CCI](#) Grattan/Michalski 2017, vgl. auch: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Inc. (ASHRAE) Handbook; [Bizot Handbook 2023 \(S. 3–17\)](#); [Managing Collection Environments Technical Notes and Guidance](#), Getty Conservation Institute Los Angeles, 2023; [Tools for the Analysis of Collection Environments Lessons Learned and Future Development Research Report](#), Getty Conservation Institute Los Angeles, 2022; [Plage climatique par type de matériaux](#), 2010–2014, C2RMF.

NEMO-Report [Museums in the climate crisis](#), survey results and recommendations for the sustainable transition of Europe, 2022.

Vgl. auch:

Bujok S., Bridarolli A., Łukomski M., Bratasz Ł., [Reconsidering Museums' Climate and Seasonal Adjustment for Vulnerable Artifacts](#) Studies in Conservation, 69, 2024, p. 18–24.

Gulbins G., «Halbtrocken und wohl temperiert. Klimakorridore für Sammlungsgut», in: [Museumsblätter der Museen Brandenburg, Juli 2024](#), S. 28.

Southwick C., «Collection management and conservation», in: Merriman N. (ed), *Museums and the Climate Crisis*, New York/Abingdon: Routledge, 2024, 118–141.

## 2.2 Definition erweiterter Klimakorridor

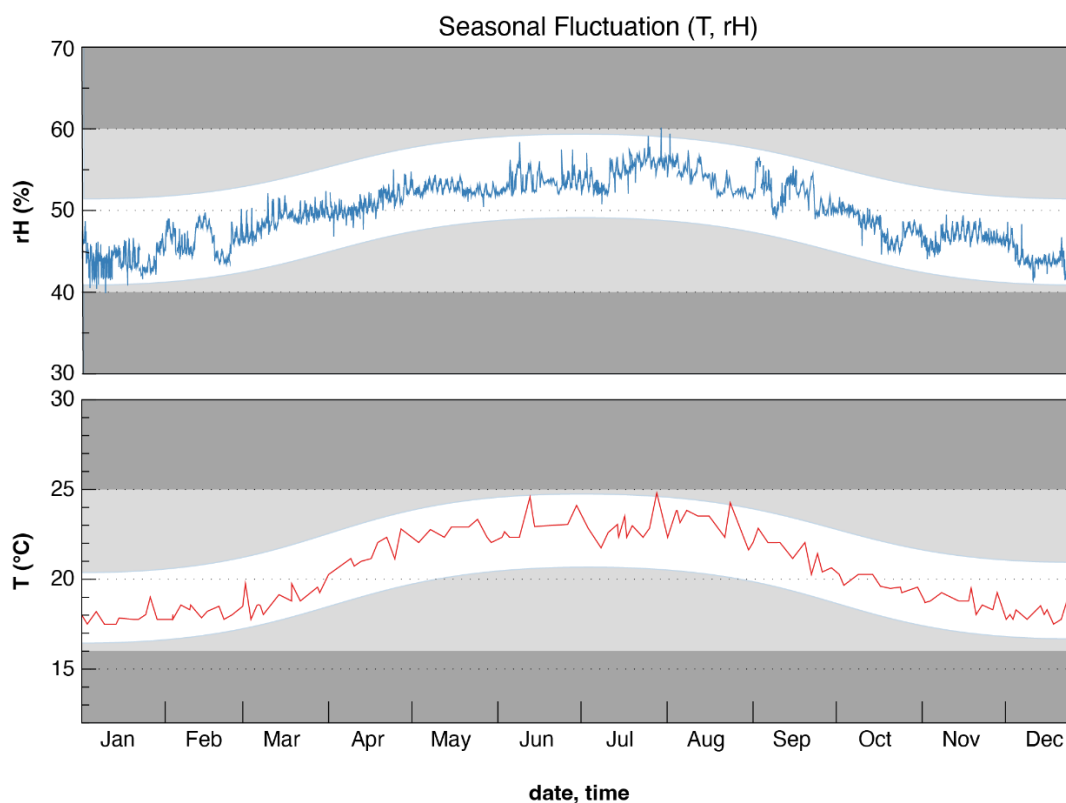
Die Definition basiert auf den unter 2.1 genannten Grundlagen. Zentral ist, dass die Definition nicht allein in der Form von Zahlenwerten vorliegt, sondern diese an Bedingungen knüpft. Für einen überwiegenden Teil des Sammlungsgutes ist der erweiterte Klimakorridor ausreichend. Für Materialgruppen, Materialkombinationen oder Sammlungskonvolute, die aufgrund der Einschätzung von Spezialist:innen andere Klimabedingungen erfordern, sind speziell angepasste Vorgaben zu formulieren.

Der erweiterte Klimakorridor liegt zwischen 40–60% rF und 16–25 °C im Jahreslauf. Im Tageslauf (bzw. gleitend innerhalb 24 h) darf die Schwankung 10% rF und 4 K nicht überschreiten:  $\Delta T/d: 4$ ;  $\Delta rF/d: 10\%$  (Definition deltaT:  $\Delta T = T_2 - T_1$ ).

Alle Werte innerhalb des Korridors sind akzeptabel, sofern das Sammlungsgut keinen abweichenden konservatorischen Anforderungen unterliegt. Schwankungen sollen nicht abrupt, sondern langsam ablaufen. Dies wird durch den angestrebten flachen Gradienten (Schwankung/Zeiteinheit) erreicht.

Stabile Klimabedingungen sind eine wesentliche Voraussetzung für den langfristigen Erhalt. Saisonale, gleitende Schwankungen sind unbedenklich und energetisch sinnvoll.

Der Graf unten zeigt einen möglichen Klimakurvenverlauf über zwei Saisonwechsel. Der Korridor (grauer Bereich) soll nicht in kurzen Zeitabständen ausgereizt werden. Er soll die Möglichkeit bieten, im Zusammenspiel mit den Bedingungen/Möglichkeiten des Gebäudes und mit passiven Mitteln und/oder einem optimierten Einsatz der technischen Anlagen einen gleitenden Schwankungsverlauf zu erzeugen (weisser Bereich).



## **2.3 Depots**

In Depots ist eine hohe Energieeffizienz (passive Klimatisierung) anzustreben. Die Temperaturen richten sich nach dem Sammlungsgut und nicht – wie in den Ausstellungsräumen – nach der Behaglichkeit der Nutzer:innen. In Abhängigkeit von der materiellen Zusammensetzung, vom Erhaltungszustand und von der spezifischen Klimaempfindlichkeit sind verschiedene Klimazonen zu definieren.

Ein zentraler Punkt ist die Entscheidung, welche Räume auch als Arbeitsräume genutzt werden müssen. Die Komplexität der Klimatisierung der Depoträume nimmt zudem mit grösserer Diversität des Sammlungsgutes zu. Depoträume sind auf die Langzeitlagerung ausgelegt. Die Klimabedingungen müssen stabil sein und sollen in erster Linie auf das Sammlungsgut ausgelegt sein.

Vgl. auch: [Museumstechnik/Klima/Klimavorgaben – ein vertretbarer Kompromiss](#) prevart 2017; DIN EN 16893:2018 Erhaltung des kulturellen Erbes – Festlegung für Standort, Errichtung und Änderung von Räumlichkeiten für die Lagerung und Nutzung von Sammlungen des kulturellen Erbes.

## **3 Klimamonitoring und Nachhaltigkeitsstrategien**

### **3.1 Passive Klimatisierung**

Das Monitoring ist Teil einer ganzheitlichen Strategie für ein nachhaltiges Museumsklima. Die Empfehlungen des Deutschen Museumsbundes aus dem Jahr 2022 fassen dies wie folgt zusammen: «Die Themen Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung, Langlebigkeit müssen weitestgehend mit passiven Mitteln und unter Ausnutzung natürlicher Prozesse erreicht werden. Speichervermögen von Baustoffen, geeignete Verschattungssysteme, ökologische Energieversorgungen und ein nachhaltiger Gebäudebetrieb sind unabdingbar.»

Ein aussagekräftiges Monitoring liefert die Datengrundlage für die Umsetzung von nachhaltigen Massnahmen am Gebäude, in den Räumlichkeiten und der präventiven Massnahmen an den Objekten. Es empfiehlt sich, Massnahmen erst dann zu planen, wenn über die Laufzeit von mindestens einem Jahr (zwei Saisonwechsel) vergleichbare Daten erfasst und ausgewertet worden sind.

### **3.2 Nachhaltige Nutzungskonzepte für das Sammlungsgut**

Sammlungsobjekte, die hohen Nutzungsfrequenzen ausgesetzt sind, also oft ausgestellt und transportiert werden, erfahren eine höhere Anzahl Klimawechsel: von Depot zu Ausstellung, von Museum zu Museum, einhergehend mit Transportphasen. Anhand des Klimamonitorings können die Klimawechsel auch qualitativ erfasst und dokumentiert werden. Dies erlaubt es, Nutzungskonzepte für Ausstellungsbereiche im Museum und für den Leihverkehr zu erstellen, die spezifisch auf klimaempfindliches Sammlungsgut ausgelegt sind.

Die Öffnung des Klimakorridors ermöglicht energetisch nachhaltige Klimälösungen und erfordert im gleichen Zug eine lückenlose Aufzeichnung und Dokumentation der Klimawechsel für empfindliches Sammlungsgut.

## **4 Vorgehen Raumklimamonitoring – messen, auswerten, dokumentieren**

### **4.1 Definition Raumklimamonitoring**

Die Klimaüberwachung kontrolliert und dokumentiert die beiden Parameter Temperatur und relative Luftfeuchte mit Blick auf die Sammlungsobjekte.

Die konservatorische Überwachung unterscheidet sich von den Echtzeitmessungen zur Anlagesteuerung, die häufig zusätzliche Parameter berücksichtigt (CO<sub>2</sub>-Konzentration, Energieverbrauch) und bei der zur Steuerung der Luftströme die Messung an vielen unterschiedlichen Orten innerhalb der Heizungs-/Lüftungsanlage oder der Klimaanlage erfolgt. Viele dieser Messdaten sind ohne direkte konservatorische Bedeutung und werden häufig nur begrenzt archiviert.

Im Gegensatz zur Anlagensteuerung stehen bei der konservatorischen Überwachung die Objektnähe und die Langzeitdokumentation im Vordergrund. Die jeweiligen Messungen ergänzen einander daher, können einander aber nicht unmittelbar ersetzen.

### **4.2 Logger (technische Vorgaben, vgl. auch 5.1)**

Elektronische Datenlogger können entweder als lokale Einzelgeräte betrieben werden oder in einem in Echtzeit auf Distanz auszulesenden Netzwerk zusammenschaltet sein. Netzwerkgebundene Geräte sollten nur dann installiert werden, wenn in der Institution eine rasche Intervention bei Netzwerkstörungen dauerhaft sichergestellt ist. Eine automatische lokale Messdatensicherung ist sinnvoll.

Mechanisch aufzeichnende Thermohygrografen mit Trommelschreiber weisen im Vergleich dazu eine hohe Dämpfung auf, die Klimaschwankungen glättet. Die erfassten Daten sind kaum vergleichbar mit elektronischen Messdaten.

Elektronische Temperatursensoren sind langzeitstabil. Feuchtesensoren sind es nicht, ihre Kalibrierung sollte jährlich überprüft werden. Eine softwareunterstützte Möglichkeit der Kalibrierung durch den Benutzer ohne Einsenden an den Hersteller spart hohe Folgekosten.

Zur Vermeidung teurer unnötiger Neukalibrierungen empfiehlt es sich, mindestens ein aktuell werkskalibriertes Messgerät als Referenz bereitzuhalten, mit der die angezeigten Werte aller Geräte gemäss deren Spezifikation überprüft werden. Bei einer Abweichung > 3% rF zu einem frisch kalibrierten Messgerät (möglichst mit einer Genauigkeit von +/-0.5%) sollte der Feuchtesensor ausgetauscht oder neu kalibriert werden.

### **4.3 Messpositionen (vgl. auch 5.1)**

Die Messung erfolgt an aussagekräftigen Orten im Raum in Objektnähe, nicht im Zu- oder Abluftstrom von Klimaanlage und in der Nähe von Aus- und Eingängen, möglichst ausserhalb der Reichweite der Besucher.

Innerhalb von Vitrinen erfolgt die Messung ebenfalls am Objekt, nicht in der vom Objektvolumen abgetrennten Klimakammer.

Eine visuelle Integration der Geräte in die Szenografie ist möglich, der Sensor muss jedoch freiliegen. Sichtbare Geräte ermöglichen eine museumspädagogische Einbindung.

Zur Dateninterpretation ist eine ergänzende Aussenmessung an einem sicheren, windgeschützten Ort ohne direkte Sonneinstrahlung wichtig.

#### **4.4 Auswertung**

Eine grafische Darstellung erleichtert die Auswertung, den Vergleich und die Präsentation der Daten. Eine übersichtliche Darstellung der üblichen Auswertungsmethoden mit Beispielgrafiken finden sich unter 5.1 *Thierry Jacot: Umsetzung des Raumklimamonitorings im Museum*.

Auf eine allfällige Glättung der Kurven, z.B. durch die Verwendung gleitender Mittelwerte, ist unbedingt hinzuweisen.

Zur Interpretation von Auffälligkeiten in den Messkurven ist es sinnvoll, ein Log besonderer Ereignisse zu führen. Dies können sein: Gerätestörungen, Wartungsarbeiten, Änderungen der Sollwerte, Abweichungen von der täglichen Routine, Malerarbeiten in den Galerien, extreme Klimaereignisse, Ausstellungsvernissagen oder andere Veranstaltungen mit hoher Besucherzahl, Schliessungstage usw.

Datenlogger erzeugen Dateien in einem herstellereigenen Format. Der Export als universell lesbare .csv-Datei (Exceltabelle) ist in der Regel ebenfalls möglich. Die lokale Archivierung sollte als Datensatz in einem der beiden Formate erfolgen. Bei der Beibehaltung des herstellereigenen Formates wird zum Öffnen die Herstellersoftware gebraucht, die in anderen Institutionen nicht verfügbar ist und zusammen mit ihrem Dateiformat kurzfristig obsolet werden kann. .csv ist gegenwärtig das langfristig sicherste Format für Datensätze, wobei die Erstellung von Grafiken in Excel o. ä. meistens etwas zeitaufwendiger ist als jene direkt mit der Herstellersoftware.

#### **4.5 Datenaustausch im Leihverkehr**

Ziel des Datenaustauschs im Leihverkehr ist es, den Unterschied zwischen den Klimabedingungen bei Leihgeber und -nehmer auf ein konservatorisch vertretbares Mass zu begrenzen und dies zu dokumentieren. Die im Facility Report enthaltenen bzw. zusätzlich übermittelten Klimadaten des Leihnehmers müssen daher der Realität entsprechen (Istwerte, keine Sollwerte) und bezüglich der Leihanfrage aussagekräftig sein. Sie sind in der Regel Bestandteil der Leihvereinbarung und dann für den Leihnehmer vertraglich bindend.

Die im Rahmen einer Leihanfrage übermittelten Klimadaten des Leihnehmers sollen folgende Kriterien erfüllen:

- Name und Funktion der Person, die für die Datenerfassung und Auswertung zeichnet
- Dokumentation der verwendeten Logger: Typ, Messgenauigkeit, Ort der Messung (mit Abbildung oder Grundrissplan)
- Abdeckung desselben Monatszeitraums (Jahreszeiten) wie die Leihanfrage
- Messung in denselben Räumen und unter vergleichbaren Bedingungen (identischer baulicher Zustand)
- Verwendung sinnvoller Messintervalle, die auch kurzfristige Schwankungen abbilden, z.B. alle 10 Min.

- Übersichtliche grafische Darstellung mit einer Grafik für die gesamte Periode und ggf. weiteren Kurven für kürzere Perioden, z.B. eine oder mehrere repräsentativ ausgewählte Einzelwochen.
- Sind nicht alle Kriterien erfüllbar, z.B. bei Gebäuderenovierungsarbeiten, so sind die vorhandenen Kurven entsprechend zu kommentieren.
- Die Richtlinien, die die Institution im Rahmen ihrer Klimastrategie verfolgt.

Zusätzlich zu den genannten Kriterien sollte die Klimadokumentation eine einfache statistische Auswertung mit den Minimal- und Maximalwerten der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit im Messzeitraum, den entsprechenden Mittelwerten sowie der Abweichung von den Zielparametern und ggf. deren Häufigkeit beinhalten.

#### **4.6 Potential für Klimaanpassungen**

Leihnehmer bieten häufig an, die vorhandenen Klimabedingungen für besonders empfindliche Objekte an spezielle Bedürfnisse anzupassen. Dies erfolgt in der Regel für den gesamten Saal durch Betreiben von mobilen Luftbe- bzw. -entfeuchtern oder durch passive Klimatisierung eines abgedichteten Raumes durch einen Feuchtigkeitspuffer, z.B. durch Klimarahmung von Gemälden und Arbeiten auf Papier oder Silicagel in Vitrinen.

Klimaanpassungen sind nur in abgeschlossenen Räumen möglich. Es darf kein Luftaustausch mit angrenzenden Räumen erfolgen. Mobile Luftbefeuchtung in grossen offenen Räumen ist in der Regel wenig erfolgreich. Bei Vitrinen ist eine ausgezeichnete Abdichtung notwendig, wie sie in der Regel nur mit kommerziellen, speziell spezifizierten Vitrinen möglich ist. Die Feuchtigkeitspuffermenge muss an das Vitrinenvolumen angepasst sein. Bei dichten Vitrinen ist die Gefahr erhöhter Luftschadstoffkonzentrationen zu beachten.

Der Betreuungsaufwand für eine aktive Vitrinenklimatisierung mit integriertem Kleinluftbe- und -entfeuchter ist sehr hoch. Eine Gerätefehlfunktion kann zu einer unkontrollierten Destabilisierung des Vitrinenklimas führen. Der Zeitaufwand einer aktiven Be- oder Entfeuchtung einer Vitrine durch regelmässigen Austausch konditionierter Feuchtigkeitspuffer ist ebenfalls sehr hoch. Beide Vorgehensweisen erfordern die Betreuung durch geschultes Personal.

In jedem Falle sollte der Leihnehmer durch Klimakurven den Beweis der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Lösungen liefern.

## **5 Praxisbeispiele zur Datenerfassung und Auswertung**

Die nachfolgenden Praxisbeispiele liefern konkrete Anregungen für die Umsetzung des Raumklimamonitorings. Eingangs werden die Grundlagen für eine erfolgreiche Datenerfassung und Auswertung gut verständlich zusammengefasst. Es folgen zwei Beispiele, die mögliche Geräteinstallationen und Auswertungsmethoden aufzeigen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Es gibt zahlreiche valable Systeme auf dem Markt, die vergleichbare Leistungen erbringen.

## **5.1 Thierry Jacot: Umsetzung des Raumklimamonitorings im Museum**

### Auswahl eines Messgeräts

Der Markt bietet eine breite Auswahl an Messgeräten, die im Rahmen der Klimaüberwachung im Museum eingesetzt werden können.

Zur Erfassung auswertbarer Daten werden Aufzeichnungsgeräte der Kategorie Datenlogger verwendet. Manche Marken bieten abschliessbare Halterungen an, um zu verhindern, dass die Geräte entwendet oder an einem anderen Ort aufgestellt werden.

Der Logger muss mindestens die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit messen. Manche Geräte geben auch den Taupunkt und die absolute Luftfeuchtigkeit an. Die Messgenauigkeit sollte möglichst bei  $\pm 2\%$  und  $\pm 0.5\text{ °C}$  liegen.

Die grosse Mehrheit dieser Geräte ist batteriebetrieben, ihre Autonomie ist abhängig von der gewählten Aufzeichnungsdauer (6 Monate bis 2 Jahre). Die Speicherkapazität muss gross genug sein, um die thermische und hygrometrische Aufzeichnung über ein Jahr aufzunehmen (Intervall von 10 Min.), also mindestens 110 000 Datensätze.

### Messpositionen

Die Wahl des Standorts des Geräts hängt von mehreren Faktoren ab, die es zu bewerten gilt. Der Standort des Geräts soll dem Ziel des Klimamonitorings entsprechen. Er muss repräsentativ sein für das, was gemessen werden soll. Zur Messung der allgemeinen Klimabedingungen wird das Gerät in der Mitte des Raums positioniert, in circa 1.5 m Höhe über dem Boden, mit genügend Abstand zu Wärme-, Feuchtigkeits- und Lüftungsquellen.

Zur Messung besonderer klimatischer Begebenheiten (Mikroklima) muss das Gerät möglichst nah an der Quelle des Phänomens positioniert werden.

Im Ausstellungsraum ist die Positionierung des Messgeräts aufgrund der museografischen Bedingungen nur an den Wänden möglich. Bei Vitrinen wird versucht, das Gerät unauffällig im sichtbaren Vitrinenbereich anzubringen. Ist das nicht möglich, wird ein spezieller Technikbereich angelegt, der das Klima der Vitrine abbildet.

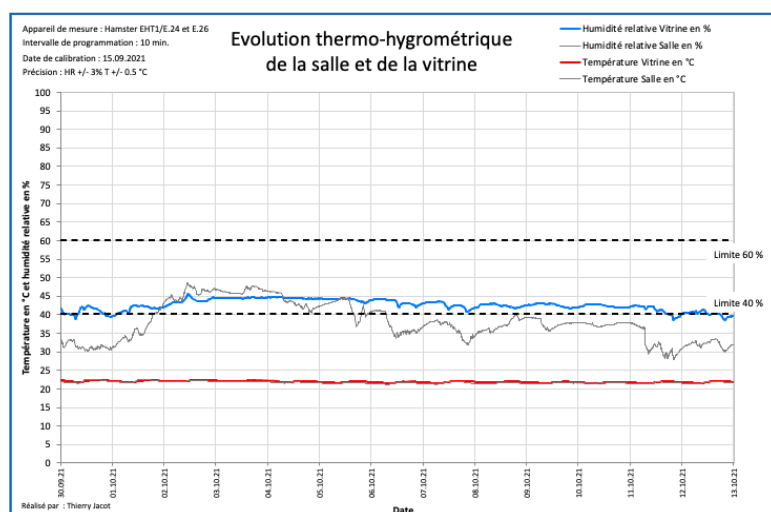
## Auswertung der Klimadaten

Die Auswertung der aufgezeichneten Daten kann als Statistik und als Grafik dargestellt werden. In der tabellarischen Übersicht werden die aufgezeichneten Maximal-, Mittel- und Minimalwerte dargestellt sowie die berechneten Werte der stündlichen, täglichen, wöchentlichen bzw. monatlichen Schwankungen, je nach Messziel, und die Erfüllungsquoten<sup>1</sup>, also die Einhaltung der konservatorischen Anforderungen.

Statistische Werte		rF in %	T in °C
Maximalwert		<b>48.5</b>	<b>22.5</b>
Mittelwert		<b>38.1</b>	<b>21.7</b>
Minimalwert		<b>27.9</b>	<b>21.1</b>
Max. tägliche Schwankung		<b>14.1</b>	<b>0.9</b>
Mittlere tägl. Schwankung		<b>5.8</b>	<b>0.6</b>
Erfüllungsquote		<b>33.5%</b>	<b>99.8%</b>
Gekreuzte Erfüllungsquote		<b>33.5%</b>	

Die meistverwendete grafische Darstellung zeigt die Entwicklung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit innerhalb der Messperiode. Diese Grafik veranschaulicht die wesentlichen klimatischen Ereignisse (schnelles Absinken oder Ansteigen) und deren Amplitude.

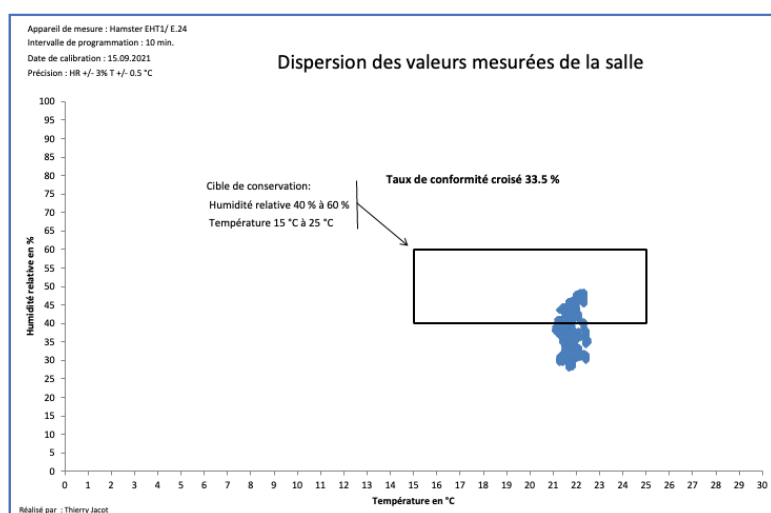
Anhand der Markierungen in der Grafik lässt sich identifizieren, wann die Temperatur bzw. die relative Luftfeuchtigkeit die empfohlenen Grenzwerte überschreitet. Die Daten von zwei Messgeräten (Raum und Vitrine) können zum Vergleich auch überlagert werden.



Das Streudiagramm bildet die Streuung der aufgezeichneten Daten im Vergleich zu den klimatischen Zielwerten (konservatorische Anforderungen) ab.

Das Ziel wird durch das schwarze Rechteck dargestellt, dies in Verbindung mit den verwendeten Grenzwerten.

Die gekreuzte Erfüllungsquote gibt den Prozentsatz der Messungen an, die innerhalb des Rechtecks liegen (gleichzeitige Einhaltung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit).

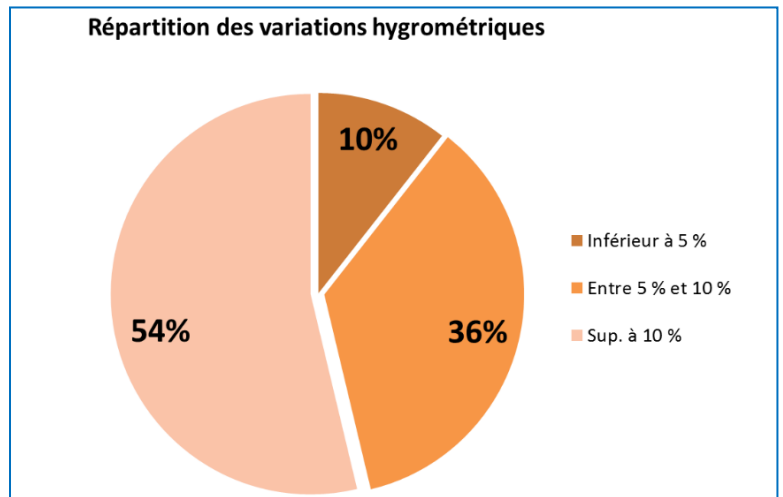


<sup>1</sup> Dieser Indikator wird entweder in Prozent oder in der Anzahl von Tagen ausgedrückt, dabei wird das Verhältnis der Werte, die innerhalb des empfohlenen Bereichs liegen, zu den gesamten aufgezeichneten Werten angegeben. Es werden drei Erfüllungsquoten bestimmt: eine für die Hygrometrie, eine für die Temperatur und eine für beide Werte.

Mit dem Kreisdiagramm wird das Verhältnis der täglichen Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit bzw. der Temperatur anhand von bestimmten Risikoschwellwerten abgebildet, so zum Beispiel:

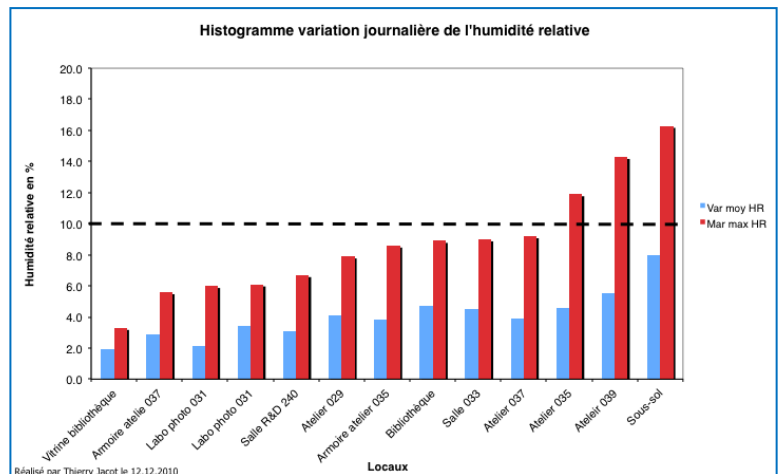
Schwankung der Luftfeuchtigkeit < 5%: Das Klima entspricht den konservatorischen Anforderungen.

Schwankung der Luftfeuchtigkeit zwischen 5 und 10%: Erhöhtes Schadensrisiko für empfindlichere Materialien. Schwankung der Luftfeuchtigkeit > 10%: Schädliche Bedingungen.



Anhand des Histogramms lassen sich die durchschnittlichen täglichen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit an den jeweiligen Messstandorten vergleichen. Dadurch werden die instabilsten Standorte leicht ausfindig gemacht.

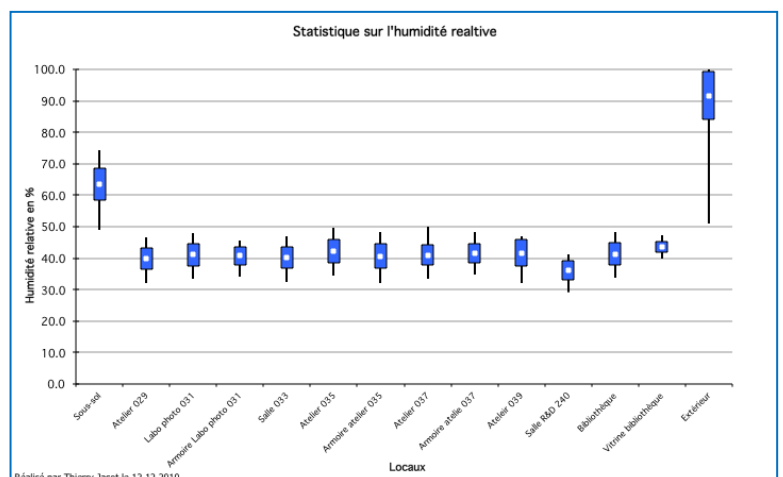
Mit derselben Darstellungsform lassen sich auch die Erfüllungsquoten der einzelnen Messstandorte vergleichen.



Zuletzt noch eine etwas spezielle Grafik, die anhand der Standardabweichung sowie der statistischen Maximal-, Mittel- und Minimalwerte erstellt wird. Hier werden die Streubreiten der Werte rund um den Mittelwert verglichen.

Damit ist es möglich, die Wärme-, Luftfeuchtigkeits- und Bodenfeuchtigkeitsprofile zu vergleichen.

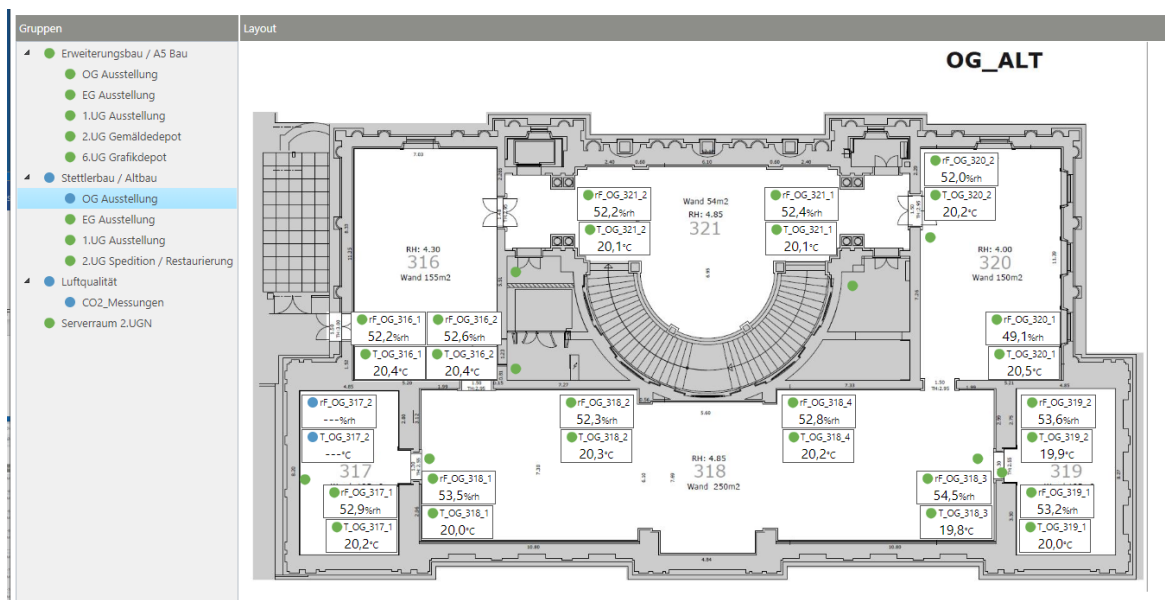
Im vorliegenden Fall stehen die blauen Rechtecke für 68% der Streubreite der Werte rund um den Mittelwert (weisses Quadrat). Der senkrechte Streifen gibt die Amplitude zwischen dem kleinsten und dem grössten Messwert an.



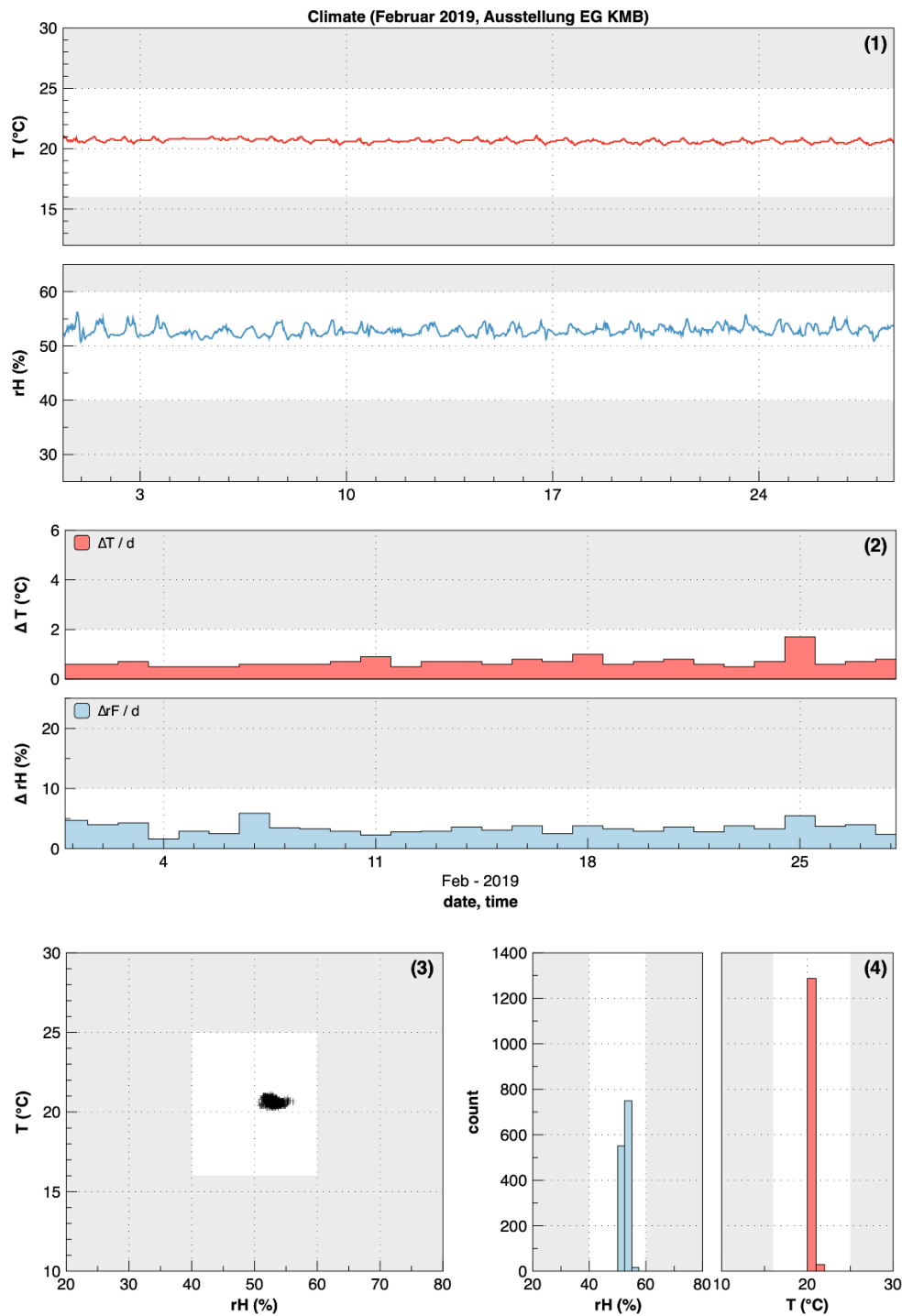
## 5.2 Matthias Lächli: Auswertung Raumklimamonitoring Kunstmuseum Bern

Das Raumklimamonitoring im Kunstmuseum Bern wurde 2019 vom Facility Management in Kooperation mit der Konservierung und Restaurierung eingerichtet. Es ist ein redundantes Messverfahren, ergänzend zur Datenerfassung für die Steuerung der Klimaanlage. Jeder Raum wird an zwei Stellen an der Wand auf gleicher Höhe gemessen (vgl. Abb. unten). Die Messgenauigkeit der Logger RMS -LOG-L (Rotronic Monitoring System) von  $\pm 0.8 \text{ rF} / \pm 0.1 \text{ C}^\circ$  ist hoch. Das System ist netzwerkgebunden. Die webbasierte Benutzersoftware ist anwender:innenfreundlich, Alarmwerte und entsprechende Benachrichtigungen können programmiert werden. Allerdings sind die weitergehenden Auswertungsmöglichkeiten limitiert. Matthias Lächli entwickelte einen Vorschlag für eine Auswertungsvorlage (basierend auf einem csv-Export der Daten und einer Weiterverarbeitung mit Microsoft Excel und der Software Diagraph von VisualDataTools), die im Kunstmuseum Bern erfolgreich getestet worden ist und für verschiedenste Systeme angewendet werden kann.

Übersicht der Platzierung der Logger mit Echtzeitanzeige



Platzierung der Logger (redundantes Messsystem für das Raumklimamonitoring neben dem Anlagesteuerungssystem), jeweils rechts im Bild (Pfeil). Die Geräte sind unter Abdeckungen gut in das Umfeld integrierbar, die Sensoren bleiben offen.



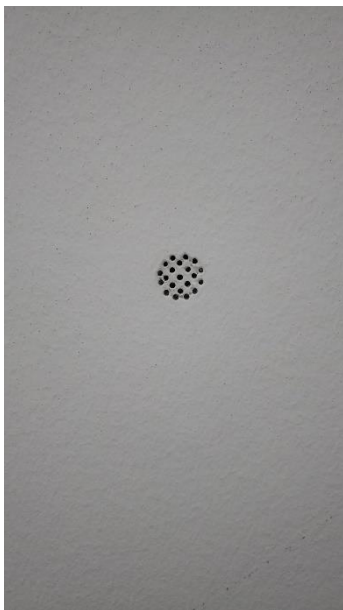
### Beispielgraf für die Auswertung im Kunstmuseum Bern

- (1) Werte der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit auf der Zeitachse aufgetragen.
- (2) Tägliche Schwankung der Werte, Maximalwert minus Minimalwert pro Tag.
- (3) Streudiagramm aller Werte des Auswertungszeitraumes mit den Achsen relative Feuchte, X, und Temperatur, Y.
- (4) Histogramme aller Daten des Auswertungszeitraumes mit den Klassenbreiten 2.5% (rF) und 1 °C (T)

### 5.3 Markus Gross, Stefan Waldhauser, Sven Eiche: Raumklimamonitoring in der Fondation Beyeler; Riehen/Basel

Aktuell wird als Raumklima in den Ausstellungsräumen, den Depots und den Restaurierungsateliers ganzjährig eine Raumlufttemperatur von  $21\text{ °C} \pm 2\text{ K}$  und  $52\% \text{ rF} \pm 5\%$  angestrebt.

Die Kondition der Zuluft, welche die Luftaufbereitungsanlage (inkl. teilweise Nachkonditionierung) erzeugt, wird basierend auf den Raumluftkonditionen bestimmt. Diese werden aktuell mittels dreier Temperatur-/Feuchte-Kombifühlern gemessen und als Mittelwert an die Gebäudeautomation übermittelt. Diese Fühler sind raumweise in (zugänglichen) Messboxen hinter den Innenwänden verbaut. Diese Boxen werden mittels Ventilator und über Schlauchverbindungen andauernd aktiv mit Raumluft durchströmt.



*Ansaugöffnung Raumluft  
der Messeinrichtung  
(Durchmesser ca. 2 cm, Höhe  
Bildmitte 150 cm)*



*Messbox der Messeinrichtung  
in/hinter der Innenwand  
(geschlossener Zustand)*

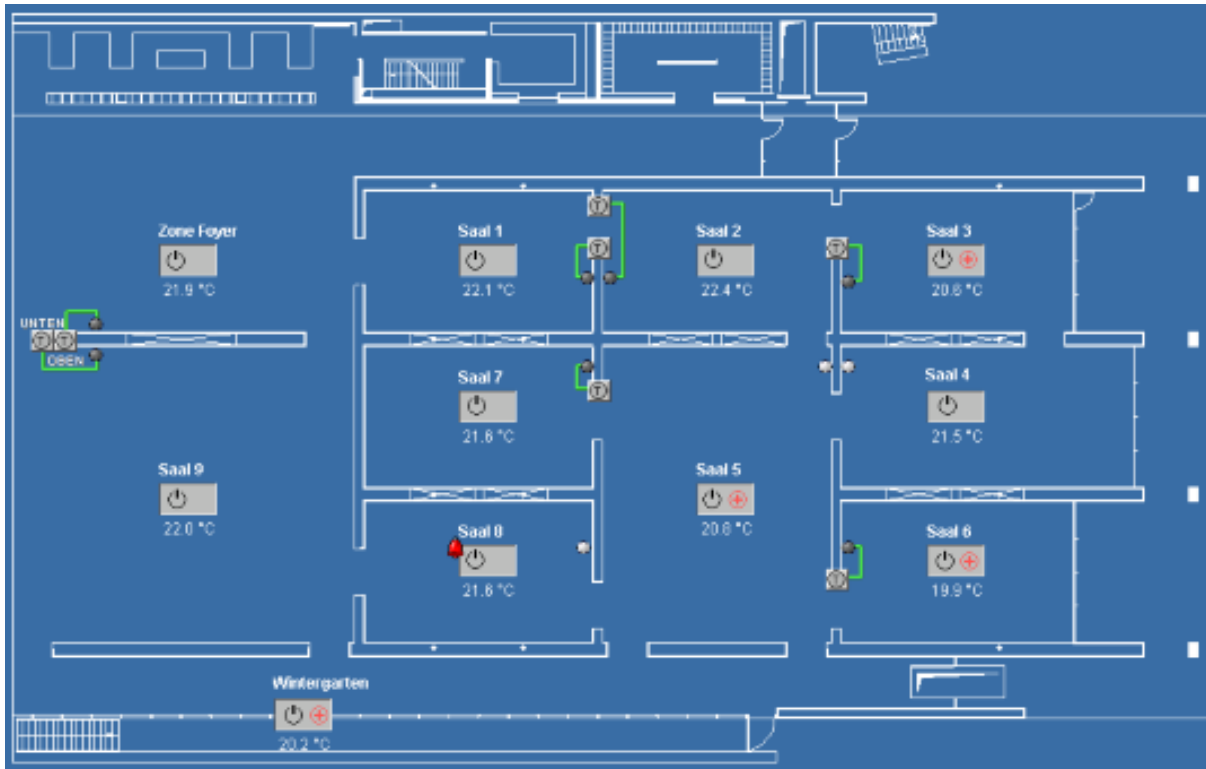


*Innenleben der Messbox mit  
den drei Fühlern der  
Gebäudeautomation*

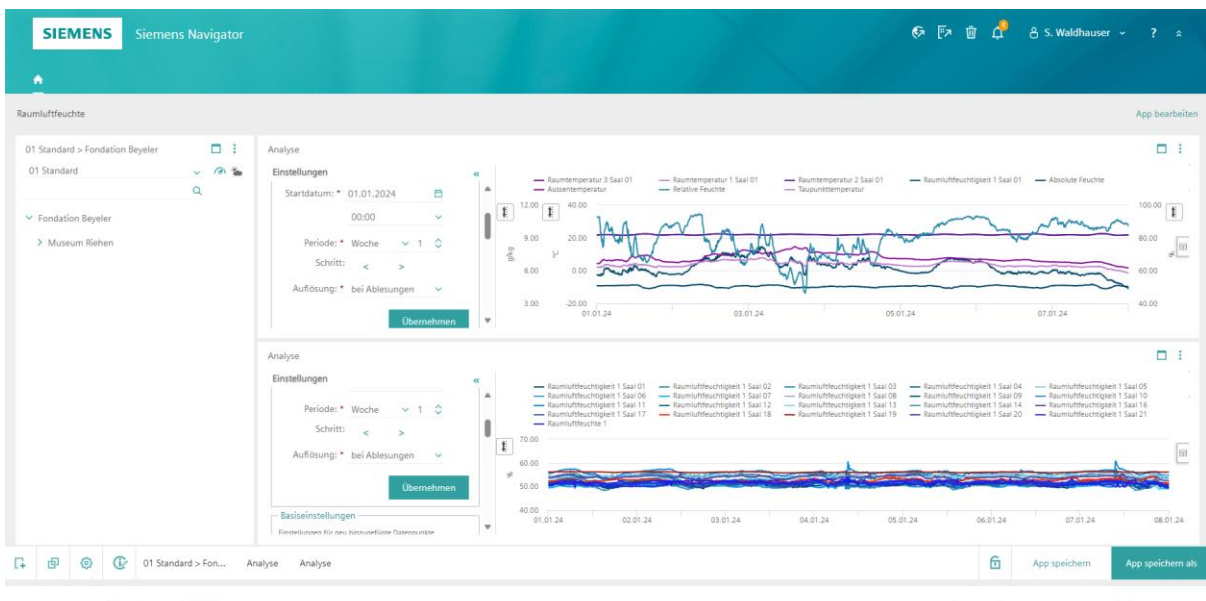
Das Facility Management wird bei zu grossen Abweichungen durch das Gebäudeleitsystem alarmiert (E-Mail).

Die Position der Raumklimamessungen ist auf der Visualisierung des Gebäudeleitsystems (Siemens Desigo Insight) erkennbar:

Ausschnitt Visualisierung der aktuellen Raumluftkonditionen (Hinweis: Zukünftig wird nicht nur wie bisher die Raumlufthtemperatur, sondern neu auch die relative Raumlufthfeuchtigkeit angezeigt).

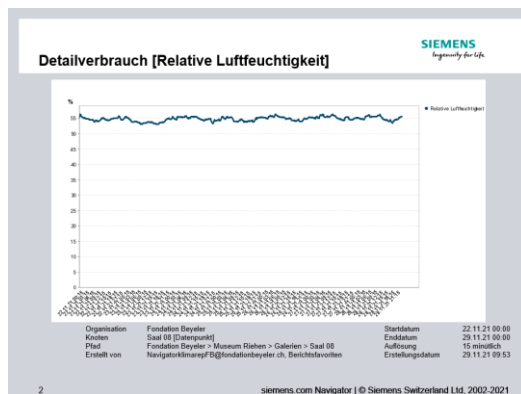


Über die webbasierte Software «Siemens Navigator» können die Restaurator:innen und das Facility Management die Entwicklung des raumweisen Klimas nutzerfreundlich einsehen, ohne auf das Gebäudeleitsystem zugreifen zu müssen. Die niedrigste Messrate liegt bei einer Minute.

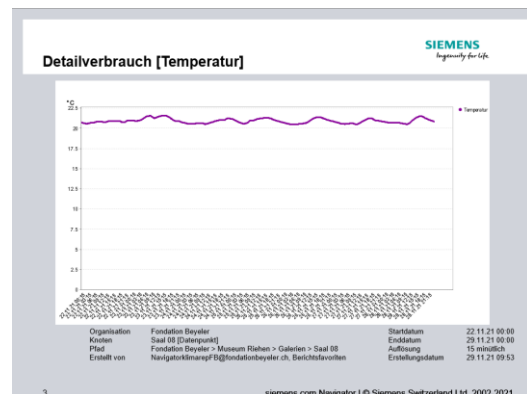


Wöchentlich erhält das Facility Management von diesem Tool automatisch generierte Berichte (in PPT-Datei), welche den Verlauf der Raumklimas pro Raum/Zone darstellen. Die Berichte,

Messauflösung 15 Minuten, sind hilfreich, da sie visuell übersichtlich «Trends» von einzelnen Galerien anzeigen.



Verlauf der relativen Raumluftfeuchtigkeit eines der Ausstellungssäle (1 Woche); per E-Mail wöchentlich automatisch zugestellt



Verlauf der Raumlufttemperatur eines der Ausstellungssäle (1 Woche); per E-Mail wöchentlich automatisch zugestellt

Unabhängig davon wird das Raumklima durch das Facility Management regelmässig (einmal täglich) mit Handmessgeräten (Testo 440 mit Bluetooth Handle; Model 0554111) in allen Galerien kontrolliert und bewertet (redundante Kontrollmessung). Die Berichte werden zeitgleich an die Restaurator:innen und den Facility Manager vor Ort übermittelt.