

Klimavorgaben für Kulturgüterdepots

ein vertretbarer Kompromiss

Autor: Joachim Huber, Prevar^t GmbH, Konzepte für die Kulturgütererhaltung – Museumsplaner
Oberseenerstrasse 93, CH-8405 Winterthur, www.prevar.ch

Ausgabe März 2017 (zur Überarbeitung vorgesehen für März 2018)

Vorbemerkung¹

Der vorliegende Text entstand in seiner ersten Fassung 2005 als Diskussionsgrundlage in einem Projekt. Seither wurde der Text tiefgreifend überarbeitet und erweitert.

Die Angaben stützen sich auf die gängige Literatur, welche vornehmlich aus dem angelsächsischen Raum stammt sowie auf unsere Erfahrung aus der Planung von Depots in den vergangenen 15 Jahren. Die vollständigste Zusammenstellung der Literatur findet sich im Anhang zu PAS 198:2012, Specification for managing environmental conditions for cultural collections (2012), S. 44-54².

Die jüngste Stellungnahme (2014) erfolgte in einer gemeinsamen kurzen Stellungnahme des International Council of Museums, Conservation Committee (ICOM-CC) und dem International Institute of Conservation (IIC) anlässlich ihrer meetings in Melbourne bzw. Honkong vom September 2014³. Diese Angaben widerspiegeln im Wesentlichen die hier bereits seit der ersten Fassung des vorliegenden Textes vertretene Position.

Die folgenden Überlegungen gelten in erster Linie für die Verhältnisse in den klimatisch moderaten Regionen Mitteleuropas. Sie sind *nicht* ohne weiteres auf andere Klimazonen übertragbar.

I Allgemeine Betrachtungen

Problematik

Der Angabe von Klimavorgaben in Museen kommt sowohl aus objekt-konservatorischer, baukonservatorischer als auch aus finanzieller Sicht Bedeutung zu. Dabei spielen mehrere Faktoren zusammen, welche nicht losgelöst voneinander zu betrachten sind.

Folgende Faktoren sind zu berücksichtigen:

- 1 Zulässige Bandbreite(n) für Temperatur und relative Feuchte
- 2 Welchen klimatischen Schwankungen darf ein Objekt ausgesetzt sein?
 - 2.1 Im Stundenverlauf
 - 2.2 Im Tagesverlauf
 - 2.3 Im Jahresverlauf
- 3 Über welchen Zeitraum sollen Bezugswerte (Setpoints) angepasst werden?
- 4 Welche Luftwechselrate (Austausch mit Frischluft) ist anzustreben?
- 5 Welche Luftumwälzungsrate ist anzustreben?
- 6 Wie wird die Temperatur geregelt?
- 7 Welches Medium wird zum Wärme-/Kältetransport verwendet?
- 8 Welche betrieblichen Aspekte müssen erfüllt sein, damit kurzfristige Schwankungen nur innerhalb der tolerierten Bandbreite erfolgen (Verwendung von Schleusen, Vorräumen etc.)?
- 9 Welche klimatische Situation ist von der bestehenden oder der neu zu erstellenden Bausubstanz aus bauphysikalischer Sicht verkraftbar?
- 10 Welche Kosten für Investition (Bau) und Aufrechterhaltung des Klimas (Betrieb) sind für den Bauherrn und den Betreiber nachhaltig verkraftbar?

1 Die in diesem Text vertretene Position bzgl. sinnvoller Klimawerte im Museumsbereich ist weder eine Norm noch eine Empfehlung. Es ist der Versuch, den derzeitigen Wissensstand zusammenzufassen, um eine sachliche Diskussion zu ermöglichen. Die Verantwortung liegt beim Nutzer, die Positionen kritisch zu hinterfragen und daraus eigene Schlüsse für die Umsetzung im Alltag zu ziehen.

Der vorliegende Text ist zur Überprüfung vorgesehen für September 2017

2 PAS 198:2012 ist unter <http://www.bsigroup.com/> kostenpflichtig herunterladbar. Eine etwas ältere Zusammenstellung der Literatur (bis 2007) findet sich auch im Handbuch der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). www.ashrae.org (Suche nach Application Handbook 2007, Chapter 21). Museumsspezifische Artikel finden sich auch in den Tagungsakten der Kongresse von ICOM-CC, IIC bzw. der Indoor Air Quality Group (IAQ), sowie im Archiv der Diskussionsliste ConsDistList unter <http://cool.conservation-us.org/byform/mailling-lists/cdl/> (abgefragt am 24.1.2015).

3 <https://www.iiconservation.org/node/5168> bzw. <https://www.iiconservation.org/node/5168> (abgefragt am 24.1.2015).

1 Bandbreite für Temperatur und relative Feuchte

Für die Erhaltung bestimmter Materialgruppen ist nebst der Schwankung des Klimas der oberere und der untere Grenzwert bezüglich Temperatur beziehungsweise relativer Feuchte ausschlaggebend. Zudem spielt die Klimageschichte eines Objekts eine Rolle, dies bedeutet, dass einem Objekt nicht kurzfristig ein „optimales Klima“ aufgezwungen werden soll, wenn das Objekt nie zuvor unter diesen Bedingungen aufbewahrt wurde (z.B. eine Skulptur in einer unbeheizten Kirche).

Tiefe relative Feuchte kann bei organischen Objekten zu Austrocknung, Versprödung und Dimensionsänderung des Materials führen. Eine sehr trockene Lagerung von Holz kann unter Umständen zum Ausbau von in der Zellstruktur gebundenem Wasser und damit zu Verformungen (Schwind) führen, welche nicht mehr umkehrbar sind.

Hohe relative Luftfeuchtigkeit führt dagegen tendenziell zu einem Erweichen des Materials.

Steigende relative Feuchte führt zu einem nicht linear ansteigenden Risiko des aktiven Schimmelfalls durch immer und überall in der Luft vorhandene Pilzsporen. Dieser Effekt wird zudem im gemässigten Temperaturbereich, der oft in Depots zu finden ist (15-25°C), mit zunehmender Temperatur beschleunigt. Bei einer relativen Luftfeuchte von über 65-70% rF ist bereits bei gemässigten Temperaturen mit einem erheblichen Risiko einer akuten Schimmelbildung zu rechnen. Siehe Figur 1.

Die Reinigung verschimmelter Objekte ist meistens nur oberflächlich und unvollständig möglich, da das Schimmelmycel mehr oder weniger in die Substanz eindringt. Diese Objekte sind daher auf einen Wiederbefall besonders anfällig, weshalb die klimatische Umgebung von durch früheren Schimmelfall vorgeschädigter Objekte besonders sorgfältig zu kontrollieren ist.

Zu beachten ist, dass sich die gesamte tolerierbare Bandbreite aus der Bandbreite in welcher der Bezugspunkt im Verlaufe der Jahreszeiten gleitet und den tolerierten kurzfristigen Schwankungen zusammensetzt.

Als angemessen für die meisten Museen und mit geringem Schadensrisiko (small risk of mechanical damage) für Objekte wird gemäss der neusten Quelle⁴ eine maximale (!) Bandbreite von 15°C – 27°C⁵ bei einer relativen Feuchte von 40% - 60% sowie bei gleichzeitig jahreszeitlich bedingtem langsamem Gleiten der Klimawerte (jahreszeitliche Anpassung des Bezugswerts) und Einhaltung der Vorgaben für kurzzeitliche Schwankungen erachtet (siehe unten). Dieses Ausschwingen der Werte nach oben und nach unten ausserhalb des Standardbereichs bis zu den Absoluten Grenzwerten ist jedoch nur in 5% der Zeit (17 Tage im Jahr) zulässig (siehe unten).

Eine Temperatur oberhalb von 19° C wird in dieser Sichtweise unter gewissen Umständen als tolerierbar erachtet. Sie ist jedoch aufgrund der bei höheren Temperaturen zunehmenden chemischen Zerfallsgeschwindigkeit *nicht* anzustreben. Ähnliches gilt auch für den Bereich eher hoher relativer Feuchte (> 55%). Hier sind v.a. die zunehmenden Klimakosten und gegebenenfalls die Probleme mit der Bausubstanz durch Kondensation an oder in der Bausubstanz ausschlaggebend.

Durch den geringen Objektumschlag in einem Museumsdepot und der Tatsache, dass Depots in erster Linie Lager- und *nicht* Arbeitsplätze sind, ist es auch *nicht* sinnvoll, die Temperatur auf die Behaglichkeit des Menschen auszurichten. Die klimatischen Verhältnisse sollen vielmehr den best möglichen Kompromiss zwischen konservatorisch angemessenen Bedingungen für das Objekt und dem zu leistenden Energieaufwand für die Klimakonditionierung (bzw. dessen Tragbarkeit) sein.

4 ASHRAE Application Handbook 2007, Chapter 21 (Museums, Libraries and Archives). Diese Publikation wertet eine Vielzahl von Quellen sowie Aussagen von Konservatoren-Restauratoren namhafter Institutionen aus.

5 Siehe Fussnote 0

Das 95% zu 5% Prinzip

Mit den heutigen bau- und klimatechnischen Möglichkeiten (z.B. dichte Bauhülle, gute Wärmedämmung, fortschrittliche Klimaanlage mit Wärmerückgewinnung) und sinnvollen betrieblichen Abläufen (z.B. keinen direkten Austausch zwischen Aussenklima und Innenklima durch offene Türen) ist es heute möglich bei verhältnismässig geringem Aufwand relativ konstante Klimabedingungen in einem Depot aufrecht zu erhalten. In 90-95% des Jahres können sehr gute Bedingungen erzielt werden. Lediglich in 5-10% der Zeit müssen unter Umständen Grenzbereiche in Anspruch genommen werden (höhere/tiefere Temperaturen bzw. relative Luftfeuchte). Diese Sichtweise ermöglicht es, die technischen Anlagen möglichst klein zu halten, was sowohl in Investition als auch im Betrieb interessant ist.

2 Klimastabilität - Kurzzeitige Schwankungen von Temperatur und relativer Luftfeuchte

Organische Materialien haben grundsätzlich die Tendenz ihre relative Feuchte der Umgebung anzupassen. Erfolgt eine schnelle Trocknung oder Befeuchtung (grosses Gefälle zwischen Objekt und Umgebung) kann dies unter Umständen zu Rissbildung und Verwerfungen am Objekt führen. Dies geschieht z.B. infolge ungleicher Dimensionsänderung zweier Materialien, welche miteinander verbunden sind beziehungsweise unterschiedlich schneller Dimensionsveränderung innerhalb eines Objekts selbst. Grundsätzlich sollen daher Klimaschwankungen stets langsam erfolgen, damit sich ein Gleichgewicht der Feuchte im Objekt bzw. zwischen Objekt und Umgebung auch langsam einstellen kann.

Als angemessen für viele Sammlungsbestände und mit geringem Schadensrisiko (small risk of mechanical damage) für Objekte wird⁶ eine kurzfristige Veränderung des Klimas um max. 2.2°C (4°F) pro Stunde resp. max. 5% rF innerhalb von 24 Stunden angesehen⁷. In vielen historischen Gebäuden sind noch grössere Schwankungen von 5% bzw. 10% ohne nachweisbare nachteilige Auswirkungen an der Tagesordnung.

Bei sehr niedrigem Luftaustausch bzw. Luftaustausch ist es klimatechnisch nicht möglich mittels dem Transportmedium Luft allfällige Störfaktoren ausreichend zu kompensieren. Es ist daher betrieblich sicherzustellen, Störfaktoren möglichst klein zu halten. Offene Türen sind zu vermeiden, ebenso wie grössere und länger dauernde Ansammlungen von Personen in den Depots. Grundsätzlich sind Depots *keine* Arbeitsplätze. Durch Kompartimentierung, Türen und Schleusen lässt sich der Luftaustausch zwischen unterschiedlich konditionierten Zonen niedrig halten. Müssen krasse Ausnahmesituationen berücksichtigt werden, müssen dazu oft die technischen Anlagen überdimensioniert werden um für den Ausnahmefall bereit zu sein, was in Investition und Betrieb teuer ist.

3 Schwankungen der Klimawerte im Jahresverlauf (Gleitklima)

Durch Anpassen der Bezugswerte im Jahresverlauf wird auf die natürlichen Umgebungsbedingungen Rücksicht genommen. Dabei wird der Bezugswert über einen längeren Zeitraum um max. 5% vom durchschnittlichen Bezugswert nach oben (Sommer) oder unten (Winter) verschoben.

Der Bezugswert (Zielwert der Anlage) kann daher zwischen 45% und 55% rF schwanken, wobei der Bezugswert sich im Verlaufe der Saison nur langsam und in kleinen Schritten verändern soll. Zusammen *mit* den tolerierten kurzfristigen Schwankungen um dem Bezugspunkt entsteht derart eine maximale absolute Bandbreite über das gesamte Jahr gesehen von 40% - 60% rF.

Da gleichzeitig zur Veränderung der relativen Feuchte auch die Temperaturen nach dem gleichen Muster gleiten können, kann die Temperatur zum „durchschnittlichen“ Bezugswert (22°C) nach oben um 5°C bzw. nach unten um 8°C angepasst werden. Dadurch ergibt sich eine maximale theoretische Bandbreite für die Temperatur von ca. 12-27°C⁸. Wir schlagen dennoch eine solche

⁶ ASHRAE Application Handbook 2007, Chapter 21 (Museums, Libraries and Archives).

⁷ ASHRAE Application Handbook 2007, Chapter 21 (Museums, Libraries and Archives).

⁸ Der durchschnittliche Bezugswert wurde hier aus konzeptionellen Gründen und mit Rücksicht auf die Behaglichkeitsbedürfnisse der Nutzer mit 22°C angenommen, obschon die ASHRAE-Vorgaben aus Rücksicht auf historische Gebäude eine grössere Bandbreite

von 14/15°C – 27°C vor, um dem sogenannten Zinnproblem bzw. gewisser Probleme mit Acrylmaterialien aus dem Weg zu gehen⁹.

Ein Gleiten der Klimawerte (Temperatur und Feuchte) im Jahresverlauf ermöglicht eine energie- und kosteneffiziente Auslegung der Klimaanlage bzw. im besten Falle eine passive Klimatisierung. Die angegebenen Werte lassen sich durch das Gleiten des Bezugspunktes im Jahresverlauf in gemässigten Breitengraden mit angemessenem Aufwand und innerhalb gesetzlicher Auflagen bezüglich der Energieeffizienz erreichen.

4 Luftaustausch und Luftumwälzung

Die Luftaustauschrate¹⁰ ist für die Konzeption einer Klimaanlage selbst in Zeiten effizienter Wärme- und Feuchterückgewinnung von entscheidender Bedeutung. Ziel ist es, mit einer möglichst dichten Bauhülle die Verluste gering zu halten und dadurch möglichst wenig aus der Umgebung angesogene Frischluft aufbereiten zu müssen. Aus dieser Sicht, kann der Luftaustausch bei unproblematischen Beständen nahezu bei 0 liegen. Dem steht die Behaglichkeit für die Mitarbeiter in den Räumen sowie die Tatsache, dass Sammlungsobjekte z.T. selber Schadstoffe abgeben bzw. durch frühere Massnahmen durch Biozide und Konservierungsmittel belastet sind. Dies führt in der Praxis in Museumsdepots ohne Kontaminationsproblematik zu einem 2- bis 6-fachen Luftaustausch pro Tag (0.085- 0.25-fach pro Stunde)¹¹ beziehungsweise zum Teil deutlich höheren Raten bei eindeutig kontaminierten Beständen (abhängig von Art und Ausmass der Kontamination).

Gegebenenfalls kann durch gezielte vorübergehende Erhöhung des Volumenstroms in einer begangenen Depotzelle die Luftmenge erhöht (boost) und so die Bedingungen für einen längeren Arbeitseinsatz deutlich verbessert werden. Dies geht jedoch bei konstanter Gesamtluftmenge zu Lasten der anderen Depotzellen. Je kleiner die betroffene Depotzelle ist, desto spürbarer wird der Effekt diese Vorgehensweise, die Luftmenge vorübergehend zu erhöhen (boost).

Zu beachten ist, dass der verhältnismässig geringe Luftaustausch im Grundsatz kontinuierlich ist und nicht über längere Zeit zum Erliegen kommt, damit angemessene Arbeits- und Lagerbedingungen erreicht werden. Auch hier gilt, dass in 95-90% der Zeit die vorgesehene Luftmenge bereitgestellt wird, und höchstens in 5-10% der Zeit dies nicht erfüllt wird (z.B. bei sehr ungünstigen Witterungsbedingungen im Hochsommer).

Die Gebäudeundichtigkeit ist im Rahmen der Betrachtung des Luftaustauschs v.a. bei älteren Gebäuden mit zu berücksichtigen.

Umluftanteil

Ein erhöhter Umluftanteil in einer Klimaanlage führt dazu, dass mehr Luft umgewälzt wird, wobei in der Regel nur ein Bruchteil der umgewälzten Luftmenge durch Frischluft ersetzt wird (Austausch). Die Umwälzung kann einerseits dazu genutzt werden, die Luft zu konditionieren (be-/entfeuchten), andererseits Schweb- und Schadstoffe auszufiltern. Die (Um-)Luft wird teilweise auch als Transportmedium beim Heizen/Kühlen verwendet. Der sehr geringe Luftaustausch bzw. die geringe Luftumwälzung in heutigen Klimakzepten für Depots zieht jedoch nach sich, dass die Luftmenge in der Regel nicht ausreicht, die Heizung und ggf. Kühlung über die Luft zu bewerkstelligen.

Staubproblematik

Einerseits gilt, dass je geringer die bewegte Luftmenge ist, desto weniger Staub aufgewirbelt wird.

von 15°C bis 25°C für den Bezugspunkt und entsprechend tiefere bzw. höhere absolute Grenzwerte vorsehen. In Depots, die im Grundsatz nicht als Arbeitsstätten ausgelegt sind, kann dieser Wert bei 18-20°C oder tiefer liegen.

9 Statt einer Abweichung nach unten um 10°C schlagen wir eine solche von 8°C vor, um dem sog. Zinnproblem auszuweichen (Zinn kann unter Umständen bei Temperaturen unter 13.2° C zerfallen, sog. Zinnpest). Bei Objekten auf Acrylbasis sollten eine Temperatur von 15°C nicht unterschritten werden, um möglichen chemischen Veränderungen aus dem Weg zu gehen (Tg). Die hohe maximale Sommertemperatur entspricht vielerorts der Realität und ist oft auch durch die örtliche Energiegesetzgebung vorgeschrieben.

10 Anteil des in einem Raum in einem bestimmten Zeitraum durch Frischluft ersetzten Luftvolumens.

11 Für Wohnräume ohne Geruchsbelastung wird üblicherweise ein Luftaustausch von mindestens 0.5 /h angesetzt.

Andererseits kann durch eine erhöhte Umluftmenge mehr Luft durch Filter geführt werden, welche ihrerseits Staub abscheiden. Letzteres Verfahren verbraucht jedoch Energie zum Umwälzen der Luft bzw. um den Widerstand der Filter zu überwinden. Durch geschickte Konzeption des Depots ist der Staub- und Schmutzeintrag jedoch auf ein Minimum reduzierbar.

5 Temperatur

Die Temperatur in Depots orientierte sich in den vergangenen Jahrzehnten in erster Linie an der Behaglichkeit für die Nutzer, welche oft in den Depots über lange Zeit arbeiteten. Mit den heutigen Arbeitsschutzregelungen sind Depots *keine dauernden Arbeitsplätze*, da idealerweise kein Tageslicht vorhanden ist. Die Arbeit am/mit dem Objekt sollte daher im Grundsatz ausserhalb des Depots in entsprechenden Arbeitsräumen erfolgen. Dadurch kann sich die Temperatur in Depots in erster Linie an den Bedürfnissen der Objektaufbewahrung orientieren und nicht nach der Behaglichkeit der Mitarbeiter. Die Temperatur in einem Depot kann daher anders (im Winter tiefer) sein als in Arbeitsräumen und führt zu einem geringeren Energieverbrauch.

Grundsätzlich plädieren wir für eine möglichst moderate Temperatur von maximal 19-21°C im Publikumsbereich bzw. 16-18°C in Depots mit Mischbeständen (inkl. Zinn, Acryl).

Bei vielen Materialgruppen steht einer natürlichen Absenkung der Aufbewahrungstemperatur im Winter bis 5°C nichts entgegen, solange angemessene relative Feuchtwerte eingehalten, beziehungsweise bei der Nutzung keine abrupten Klimawechsel erfolgen.¹²

Eine ganzjährige energieaufwändige Kühlung ist nur angezeigt bei chemisch sehr instabilen Objekten (z.B. Farbfotografie) oder bei auf Schädlingsbefall sehr anfällige Sammlungen (z.B. naturkundliche Präparate, Felle). Letztere sind bei Temperaturen unter 16°C gut gelagert, da die Fortpflanzung von Insekten bei kühlen Temperaturen stark abnimmt. Bei Fotos liegen die empfohlenen Zielwerte zwischen 6 ° und 16°C bzw. in Spezialfällen unter dem Gefrierpunkt.

Wasser als Wärme-/Kälte transportmedium im Depot

Bei sehr niedriger Luftaustauschrate kann der Fall eintreten, dass die Temperatur nicht über die Luft (wie meist bei einer Vollklimatisierung) geregelt werden kann, da der Volumenstrom zu gering ist, um die benötigte Wärme/Kälte zu transportieren. Dem entsprechend muss die Temperaturkomponente des Klimas in einem Depot gegebenenfalls über statisch Heizkörper bzw. über eine Aktivierung der Baumasse (Baukernaktivierung, Bauteiltemperierung, Wandtemperierung) gelöst werden. In den meisten Fällen wird dabei Wasser als Transportmedium verwendet. Bedenken bzgl. der Verwendung von Wasser in Depots sind zwar grundsätzlich begründet, können jedoch durch geeignete konstruktive oder bauliche Massnahmen und/oder technische Massnahmen (z.B. sog. Druckwächter) weitgehend gelöst werden.

6 Filterung

Luftschadstoffe und Feinstaub sind Aspekte, welche heute in *jeder* Situation mit einzubeziehen sind sowohl in städtischen als auch in ländlichen Gebieten. Dabei hat sich die Zusammensetzung über die Jahre verändert. Gasförmige Schadstoffe tragen zur Alterung von Materialien bei, während Feinstäube zu einer zunehmenden Verschmutzung und ggf. Veränderung der Objekte führen. In vielen Fällen sind diese Verschmutzungen wie z.B. Russpartikel nachträglich nicht oder nur mit sehr grossem Aufwand zu entfernen. Es ist daher sinnvoll, Lüftungs- und Klimaanlage mit entsprechend wirksamen Filtern auszurüsten (E6/E7 bzw. E9). In stark belasteten Gebieten ist ggf. auch eine weitere Gasfilterung einzubauen oder zumindest der Platz für eine zukünftige Nachrüstung vorzuhalten. Filter bietet auch einen wirksamen Schutz gegen das Eintragen von Schadinsekten über die Belüftung/Klimatisierung von Depots.

¹² Durch eine Untergrenze von 5°C wird den noch wenig verstandenen spezifischen Eigenschaften von Wasser, das bei 4°C seine grösste spezifische Dichte hat und bei 0°C gefriert aus dem Wege gegangen. Dabei ist der Einhaltung der relativen Feuchte Beachtung zu schenken.

7 Betriebliche Aspekte

Eine Schwankung der Temperatur im moderaten Temperaturbereich (15-25°C) um 1.5°C bei gleicher absoluter Feuchte führt zu einer Veränderung der relativen Feuchte von ca. 5% (= maximal tolerierte Schwankung)¹³. Dies bedeutet, dass zwischen Objektstandorten bzw. auf dem Verschiebungsweg möglichst geringe Schwankungen der Klimaverhältnisse anzustreben sind. Diese Anforderung beim Übergang von einer Klimazone in eine andere (z.B. 40%-50% rF zu 50-60% rF) ist unserer Einschätzung nach in den seltensten Fällen mit angemessenem technischem Aufwand zu gewährleisten (z.B. Übergang Depot – Verkehrsweg – Werkstätte). Es sind daher sinnvolle bauliche (z.B. Schleuse oder Akklimatisationsraum) und betriebliche Massnahmen (z.B. günstige Wahl des Transportzeitpunkts, angemessene Verpackung) zu treffen.

Eine sinnvolle (langsame) Akklimatisierung von Objekten zwischen zwei unterschiedlichen Klimata erfordert Zeit. Die Möglichkeit des sofortigen Zugriffs auf Objekte bei grosser Klimadifferenz zwischen Depot- und Arbeitsraum ist daher nicht sinnvoll. Dies kommt v.a. bei aufwändig klimatisierten Bereichen (z.B. gekühlte Zellen für Fotos) zum tragen.

8 Bauphysikalische Aspekte

In Altbauten - aber und auch in Neubauten - ist abzuklären, inwiefern eine höhere relative Luftfeuchte zu einer nachteiligen bauphysikalischen Situation durch Kondensation an bzw. in Bauteilen führen kann. Ein biologischer Befall der Bausubstanz wäre sowohl ein Gesundheitsrisiko für Mitarbeiter als auch ein Risiko für die gelagerten Objekte.

Bei einem Raumklima am oberen Ende der Bandbreite (22°C und 60% rF) liegt der Taupunkt bei 13.9° C. Dies bedeutet, dass die entsprechend konditionierte Luft an oder in einem Bauteil bei einer Temperatur von 13.9°C kondensiert¹⁴. Die Voraussetzungen für eine Kondensatbildung wird bei derartigen Klimaverhältnissen v.a. in Altbauten im Fensterbereich aber auch im Innern von Mauerwerk mühelos erreicht und kann zu einer nachhaltigen Schädigung der Bausubstanz führen¹⁵. Eine allenfalls notwendige Sanierung von Bauschäden und die damit verbundenen logistischen und baulichen Massnahmen wären an sich wiederum ein nicht zu unterschätzendes Risiko für die Objekte.

Klimaverteilung in Depoträumen

Je träger, dichter und angemessener gedämmt ein Gebäude ist, desto geringer sind die Temperaturdifferenzen zwischen den Bauteilen (Böden, Wände, Decken), dem darin enthaltenen Klima und letztlich den darin untergebrachten Objekten. Eine Schichtung der Temperatur und Feuchte in einem Raum wird dadurch sehr gering sein und keine erkennbaren Auswirkungen auf den Objektbestand haben. Unter ungünstigen Bedingungen entstehen jedoch Kältebrücken, Luftzug etc. welche zu erhöhten Luftbewegungen und im schlechtesten Falle zu unerwünschten Mikroklimata in den Depots führen können.

9 Kosten für Investition und Unterhalt

Die Aufrechterhaltung eines bestimmten Klimas durch aktive Klimatisierung (= mit technischen Mitteln wie Klimaanlage, Lüftung, Befeuchtung, Entfeuchtung etc.) ist kostenintensiv sowohl bei der Investition wie auch im Betrieb. Je enger die Anforderungen gesetzt sind, desto aufwendiger ist die Gewährleistung dieser Werte. Ein Grossteil des Aufwands entsteht durch die Sicherstellung der benötigten Reserven für den relativ seltenen Ausnahmefall, der erfahrungsgemäss in unseren Breitengraden in weniger als 5-10% des Jahres eintritt. Die Öffnung der Bandbreite ermöglicht es, die Anlagen kleiner und dadurch auch in Investition und Betrieb günstiger auszulegen, bzw. in

¹³ Vgl. Mollier-h-x-Diagramm im Anhang

¹⁴ Bei gleicher Temperatur liegt der Taupunkt bei 50% rF bei 11.12°C bzw. bei 40% rF bei 7.81°C

¹⁵ Diese Problematik ist dadurch erkennbar, dass sich Fensterrahmen in (nachträglich) klimatisierten Altbauten oft in deutlich schlechterem Zustand befinden als in nicht klimatisierten Räumen gleicher Lage des gleichen Gebäudes. Bei späteren Umbauten treten zudem oft versteckte Schäden an der Bausubstanz zu Tage (z.B. Schimmel hinter Wandverkleidungen).

gewissen Fällen gänzlich darauf zu verzichten oder mit passiven Massnahmen zum Ziel zu gelangen. Absicht ist es jeweils, zu einem optimalen Kosten-Nutzen-Verhältnis zu gelangen und zugleich die Beanspruchung der klimatischen Grenzbereiche auf eine genau definierte Zeitdauer im Jahr zu beschränken (z.B. 5 - 10 % der Zeit).

In finanzieller Hinsicht ist die Luftaustauschrate von zentraler Bedeutung, da diese die aufzubereitende Luftmenge (und damit die Grösse der klimatechnischen Anlagen) massgebend mitbestimmt. Auch Absauganlagen (Digestorien, Abzüge) in Werkstätten beeinflussen die Luftaustauschrate entscheidend, da die abgesaugte, kontaminierte Luft als konditionierter Frischluft nachgeführt werden muss. Wird dieser Aspekt nicht genügend berücksichtigt, tritt der Fall ein, dass unkonditionierte bzw. auf einen anderen Wert konditionierte Luft aus anderen Bereichen des Gebäudes nachgezogen wird und dadurch das angestrebte Klima unter Umständen zusammenbricht, da die Klimaanlage nicht in der Lage ist, genügend konditionierte Luft aufzubereiten.

II Materialspezifische Aspekte

Grundsätzlich bestehen je nach Materialgruppe unterschiedliche klimatische Anforderungen. Dabei sind sowohl in Experimenten gewonnene Erkenntnisse als auch empirische Erkenntnisse aus dem Alltag in Museen und historischen Gebäuden zu berücksichtigen. Zudem ist, wie oben gezeigt, die Erhaltung des Objekts nur einer unter verschiedenen Aspekten, welche es zu berücksichtigen gilt. Ziel ist es, mit den vorhandenen Mitteln langfristig das Risiko einer Objektschädigung möglichst gering zu halten.

Traditionellerweise wurden für Museen relativ enge Klimawerte gefordert, welche 50% rF +- 5% betragen. Dieser Wert gehen in den meisten Fällen auf die damaligen Erkenntnisse in Garry Thomsons Publikation „The Museum Environment“ von 1978 (²1986) zurück. Sie bilden den Kompromiss zwischen einer oberen Grenze von 65-70% rF, oberhalb welcher mit Schimmelbefall zu rechnen ist, einer unteren Grenze von 40-45% unterhalb welcher mit dem Ausbau von strukturellem Wasser in Holz zu rechnen ist, weiteren materialimmanenten Faktoren sowie den in gemässigten Klimazonen erreichbaren Klimawerten.

Wir sind der Meinung, dass in der Bandbreite 40% - 60% rF eine überwiegende Mehrzahl der Objekte unproblematisch aufzubewahren ist¹⁶. Wird der Bestand nicht aktiv bewirtschaftet, könnte zudem die relative Feuchtigkeit bei vielen Objektgruppen weiter gesenkt werden¹⁷.

Für Holz wurde postuliert, dass bei einer Bandbreite von +- 9% rF bei einem Bezugswert von 50% rF und widrigsten Umständen keine signifikanten Veränderungen bei natürlich gealtertem Holz messbar waren¹⁸. Dies entspricht ungefähr der zur Diskussion stehenden Bandbreite von 40%-60% rF.

Aus dem Blickwinkel der Objekterhaltung müssten die meisten Objekte kühl(er) gelagert werden, um den chemischen Zerfall möglichst gering zu halten (z.B. 15°-18°C in einem Depot mit gemischten Beständen). Viele Objektgruppen lassen sich auch gefahrlos kühler (bis 5°C hinunter) aufbewahren. Die üblicherweise für Museen zitierten Richtwerte von 20-22°C beziehen sich auf für den Menschen behagliche Temperaturen und *nicht* auf die Objekterfordernisse in Depoträumlichkeiten.

Nebst der überwiegenden Anzahl der Objekte, welche mit einem moderaten Universalklima auskommen, gibt es auch Objektgruppen, welche wegen ihrer chemischen oder physikalischen Eigenschaften besondere Aufbewahrungsbedingungen erfordern. Die betrifft zum Beispiel Fotografien auf flexiblen Trägern (5° und 16°C). Gewisse Glassorten sind anfällig auf die sogenannte Glaskrankheit und Metalle bzw. gewisse Gesteine sind anfällig auf Korrosion (insbesondere bei bereits korrodierten Objekten). Eine Lagerung dieser „befallenen bzw. fragilen“ Glas-, Metall- und Gesteinsbestände unterhalb von 40% ist aus konservatorischen Gründen angezeigt. Eine trockenere Lagerung ist jedoch meist nicht von Nachteil. Die relative Feuchte ist daher für diese Objektgruppen in erster Linie nach oben zu begrenzen. Für nicht befallenes Glas und nicht bereits korrodierte Metalle wird generell eine relative Feuchte „unterhalb von 50% rF, besser tiefer empfohlen“¹⁹. Eine eher erhöhte relative Luftfeuchte wird angestrebt bei Objekten, welche zu Salzausblühungen neigen (z.B. ungebrannte Tonobjekte) oder organische Materialien wie Leder, deren Geschmeidigkeit erhalten werden soll.

Die Erfahrungen aus verschiedenen Depotprojekten der letzten Jahre zeigen, dass bei mehr als 95% der Bestände ein moderates Universalklima *keine* nachweisbaren negativen Folgen für die Sammlungsobjekte hatte.

16 Erhard/Mecklenburg, 1994 verfechten als erste eine Spanne von 30%-60% (Erhard/Mecklenburg, IIC Ottawa 1994). Zur Diskussion der Frage der Öffnung der Bandbreite vgl. die Zusammenstellung des Forums Bestandserhaltung unter <http://www.uni-muenster.de/Forum-Bestandserhaltung/grundlagen/klima-gs.shtml>. Susan Bradley verfiert ebenfalls eine Spanne von 35% -65% als Grundlage für die Klimarichtlinien am British Museum in London. (Bradley, ICOM-CC, Edinburg 1996). Die Autoren des vorliegenden Textes verfechten eine leicht höhere untere Grenze von 40% aufgrund der spezifischen Eigenschaften von Holz und eine leicht tiefere obere Grenze von 60% um die Gefahr eines Schimmelbefalls zu minimieren.

17 Erhard/Mecklenburg, (IIC Ottawa 1994)

18 Erhard/Mecklenburg/Tumosa (ICOM-CC, Edinburg 1996)

19 Erhard/Mecklenburg, (IIC, Ottawa 1994)

III Fazit

Unter Berücksichtigung aller oben angeführten Faktoren erachten wir es als angemessen, für den überwiegenden Sammlungsbestand (inkl. Zinn und Acryl) ein moderates Klima „40/60 rF“ anzustreben, welches möglichst stabil in der *absoluten* Bandbreite 40%-60% rF bei einer *absoluten* Temperaturspanne von 15°C bis 27°C liegt²⁰. Im Jahresverlauf lassen sich in unseren Breitengraden nach bisherigen Erfahrung problemlos und mit vertretbarem Aufwand in 90-95% der Zeit Werte zwischen 45 und 55%rF bzw. Temperaturen zwischen 15°C und 22°C erreichen (= anzustrebende Bandbreite in 90-95% der Zeit). Die erweiterten Randbereiche (55-60%rF und. 40-45%rF bzw. Temperatur > 22°C dürfen lediglich in max. 5-10% der Zeit ausgenutzt werden. Aus der Literatur und der Praxis sind uns bislang keine Beispiele bekannt, bei welchen eine derartige Klimasituation für die Mehrzahl der Objekttypen zu Schäden geführt hätte. Diese Vorgaben sind offener als vielerorts bislang gefordert. Sie sind jedoch im praktischen Alltag zu erreichen und v.a. auch einzuhalten, was bei den bisherigen engeren Anforderungen oft (und in voller Kenntnis, dass die Forderungen unrealistisch sind) jedoch nicht geschah.

Es gilt auch hier, dass ein Grossteil der Bestände (95%) unter diesen Klimabedingungen angemessen aufbewahrt werden kann. Für die verbleibenden 5% (z.B. Fotografie, Metall, gewisse Gläser etc.) sind Sonderlösungen (Klimatisierung) oder Kompromisse einzugehen.

Wichtig scheint uns für das Gros der Objekte:

- dass Depots nicht nach der Behaglichkeit des Menschen konzipiert werden, sondern nach den Bedürfnissen der Objekte (Kulturgut lagert auch bei kühlen Temperaturen gut, die meisten sogar besser!)
- Störfaktoren sind auf ein absolutes Minimum zu beschränken (unkontrollierter Luftaustausch, grössere, länger andauernde Personenansammlungen in Depots etc.)
- dass die kurzfristigen Klimaschwankungen im Tagesverlauf idealerweise 5% rF bzw. 2-3°C möglichst nicht überschritten werden, wobei in historischen Gebäuden die Tagesschwankungen auch höher ausfallen mögen
- dass die tolerierbare absolute Bandbreite des Klimas nur im jahreszeitlichen Verlauf ausgeschöpft wird
- dass die Randbereiche an nicht mehr als 5 -10% der Zeit oder 18-36 Tagen pro Jahr in Anspruch genommen werden
- dass die Bezugswerte im Jahresverlauf (jahreszeitlich gleitendes Klima) in gewissen Grenzen eingehalten werden:
 - Feuchte bei 50% rF +-5%
 - Temperatur bei 22°C +5°C/ -7° bis 8°C
- dass die Bausubstanz eine Klimatisierung langfristig erträgt
- dass angemessen betriebliche Abläufe konzipiert, umgesetzt und eingehalten werden
- dass die Massnahmen bezahlbar sind
- dass oben angeführte Punkte nicht fahrlässig missachtet werden

Diese Klimavorgaben implizieren nun jedoch nicht, dass es nicht Objekte geben kann, welche punktuell eine spezielle Aufbewahrung erfordern würden, sei dies dadurch, dass sie z.B. bereits massiv vorgeschädigt seien oder spezifische Materialeigenschaften aufweisen (z.B. chemische Instabilität von fotochemischen Materialien, heikle Lackarbeiten, archäologisches Eisen, Blankwaffen, „krankes“ Glas etc.). Für diese in der Regel eher seltenen bzw. mengenmässig begrenzten Fälle sind unabhängig von der Gesamtlösung Sonderlösungen zu erarbeiten. Derartige

²⁰ Für viele Objektgruppen kann die Untergrenze gefahrlos sogar bis auf 5°C abgesenkt werden, sofern die Vorgaben für die relative Feuchte der Luft eingehalten werden..

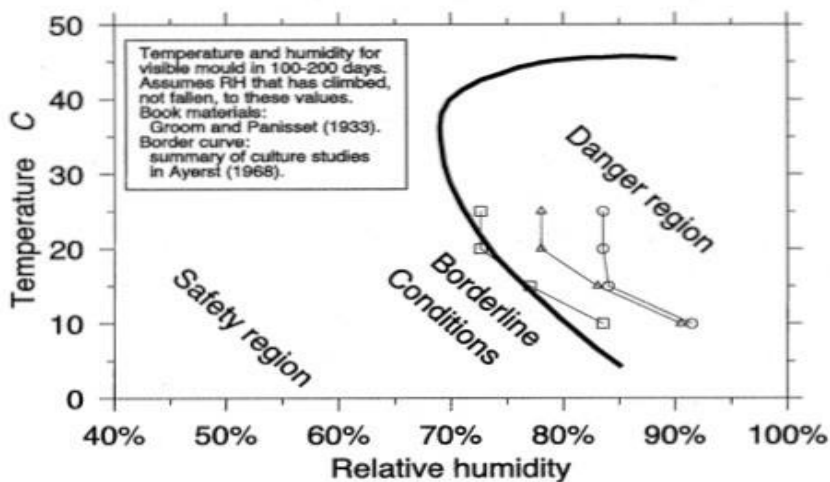
Spezialbereiche sind zusätzlich durch geeignete Massnahmen lokal zu befeuchten bzw. zu entfeuchten, allenfalls auch zu kühlen.

In Abwägung aller Risiken²¹ und Möglichkeiten scheint uns der Vorschlag „40/60 rF“ wie oben ausgeführt für einen Grossteil der Sammlungsbestände ein gangbarer Kompromiss zu sein²². Wichtig ist jedoch, dass diese Vorgaben möglichst auch während ausserordentlicher Situationen (z.B. Zwischenlagerungen, Umlagerungen, Umsiedlung, Ausstellungen, Transporte) eingehalten werden können und Klimaschwankungen langsam erfolgen.

Kein „Worst Case“ Szenario

Depots für Kulturgüter sind langfristig angelegt. Die darin untergebrachten Objekte sollen auf lange Sicht hin erhalten werden. Einrichtung und Betrieb eines Depots müssen daher ebenso langfristig gesehen werden. In Anbetracht zunehmender Aufgaben der öffentlichen Hand und schwindender Ressourcen werden unserer Ansicht nach in naher Zukunft nicht mehr im gleichen Ausmasse die Mittel zur Verfügung stehen, hochtechnisierte und immer grösser werdende Depots zu betreiben. Es muss daher ein vorrangiges Ziel sein, die Infrastruktur für die Aufbewahrung unsere Kulturgüter bestmöglich bei tragbaren Kosten zu gestalten. So bleibt sichergestellt, dass die Infrastruktur weiter betrieben werden und dem Kulturgut dadurch angemessene Aufbewahrungsbedingungen geschaffen werden können.

Dieser Text darf für *nicht kommerzielle* Zwecke unter Namensnennung weitergegeben werden. Änderungen zum ursprünglichen Text sind zu kennzeichnen. Die aktuellste Version ist unter www.prevart.ch herunterladbar.



Figur 1. Schimmelwachstum in Abhängigkeit von Luftfeuchtigkeit und Temperatur (Umzeichnung von Tom Strang 2012 nach Stephan Michalski 1993)

21 Zu diesen Risiken ist auch jenes eines Ausfalls oder nicht Finanzierbarkeit der Technik über einen kürzeren oder längeren Zeitraum zu zählen.

22 Dieser Kompromiss wurde – nach eingehender Diskussion – auch für das Sammlungszentrum der Schweizerischen Nationalmuseen in Zürich (2005-2006) und für das Zentraldepot der städtischen Museen München verwendet.

