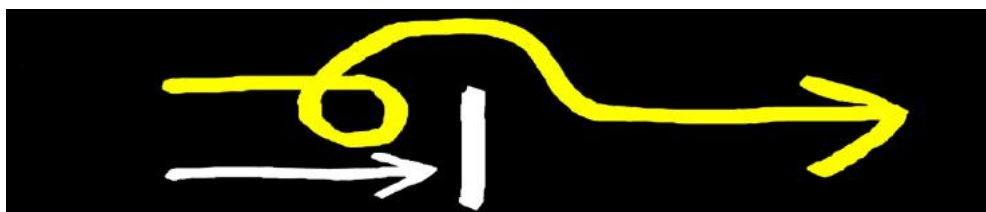


Angemessenes Klima für Kulturgut

Ein vertretbarer Kompromiss – nicht nur Zahlen und Werte



Autor: Joachim Huber,
Prevart GmbH, Konzepte für die Kulturgütererhaltung – Museumsplaner
Oberseenerstrasse 93
CH-8405 Winterthur
www.prevart.ch

Hinweise, Anmerkungen, Kritik und ggf. Lob bitte an klima@prevart.ch

Ausgabe Dezember 2025 (zur Überarbeitung vorgesehen: Dezember 2026)

Wir arbeiten weiter an diesem Dokument. Die aktuelle Ausgabe findet sich unter
<https://www.prevart.ch/download/handreichungen/depotplanung/klima>

Version 0.9.9



¹ **Namensnennung** — Sie müssen [angemessene Urheber- und Rechteangaben machen](#), einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob [Änderungen vorgenommen](#) wurden. Diese Angaben dürfen in jeder angemessenen Art und Weise gemacht werden, allerdings nicht so, dass der Eindruck entsteht, der Lizenzgeber unterstütze gerade Sie oder Ihre Nutzung besonders.

Nicht kommerziell — Sie dürfen das Material nicht für [kommerzielle Zwecke](#) nutzen.

Weitergabe unter gleichen Bedingungen — Wenn Sie das Material remixen, verändern oder anderweitig direkt darauf aufbauen, dürfen Sie Ihre Beiträge nur unter [derselben Lizenz](#) wie das Original verbreiten.

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen	4
2	Einleitung	8
3	Acht Fragen, die man sich stellen sollte	11
4	Klima in Depots	15
4.1	Relative Luftfeuchtigkeit	16
4.2	Temperatur	17
4.3	Kalte-Wand-Problematik.....	19
4.4	Maximal- / Minimalwerte (relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur) ...	20
4.5	Schwankungen von Temperatur (T) und relativer Luftfeuchte (rF).....	20
4.6	Historische Schwankungen (Proofed Fluctuation).....	22
4.7	Schwankungen der Klimawerte im Jahresverlauf (Gleitklima)	23
4.8	Heizen und Temperieren	23
5	Luftaustausch, Luftumwälzung, Staubproblematik, Schadstoffe	26
5.1	Luftaustausch	26
5.2	Luftumwälzung	27
5.3	Staubproblematik.....	28
5.4	Filterung.....	28
6	Bauliche Aspekte	31
6.1	Lage des Gebäudes oder des Raumes.....	31
6.2	Vorräume.....	31
6.3	Wasserdichtigkeit der Gebäudehülle.....	32
6.4	Austrocknungszeit bei Neu- und Umbauten	33
6.5	Dämmung, Wärmebrücken (Kältebrücken)	34
6.6	Winddichtigkeit der Gebäudehülle.....	34
6.7	Fassadenaufbau.....	35
6.8	Rauch- und Wärmeabzugklappen (RWA)	35
6.9	Klimapuffernde Materialien.....	36
6.10	Über- / Unterdruck in Depoträumlichkeiten	36
6.11	Wasser als Wärme-/Kälte transportmedium im Depot	37
6.12	Installationen (Wasser, Abwasser, Heizung, Luft).....	37
6.13	Trockenschacht	37
7	Betriebliche Aspekte	39
7.1	Offene Türen, Tore und Fenster	39
7.2	Verpackung	39
7.3	Reinigung	40
7.4	Messen, Kontrollieren.....	41
7.5	Objekthandhabung unter verschiedenen Klimabedingungen.....	43
8	Risiken	44

8.1	Feuchtigkeit	44
8.2	Trockenheit.....	46
8.3	Technische Risiken	47
8.4	Rauch	50
9	Klima außer Rand und Band – erste Maßnahmen	51
9.1	Zu hohe Luftfeuchtigkeit - Schimmelbefall.....	51
9.2	Zu niedrige Luftfeuchtigkeit	52
10	Begriffe	53
11	Hilfreiche Tools und Web-Ressourcen	58
12	Abbildungen und Diagramme	59
13	Bibliografie	64
14	Dank für Kommentare und Hinweise	65



1 Vorbemerkungen

Das Beheizen von Gebäuden war in unseren Breitengraden lange ein Luxus und beschränkte sich bis weit ins 20. Jahrhundert in der Regel auf wenige, meist eher kleine Räume. Viele repräsentative große Gebäude wie beispielsweise Schlösser wurden nur im Sommer genutzt und in der kalten Jahreszeit in einen mehrmonatigen „Winterschlaf“ versetzt. Das Mobiliar wurde zusammengestellt und mit Hussen und Tüchern geschützt, Bilder wurden von den Wänden genommen und zusammen mit anderen fragilen Gegenständen an einen trocknen Ort verbracht. Viele Museen in historischen Gebäuden kannten keinen Winterbetrieb.

Erst die einfache und günstige Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe und Elektrizität ermöglichte es, auch große Gebäude im Winter zu beheizen und zu nutzen. Der als behaglich betrachtete Temperaturbereich für Menschen wurde immer weiter nach oben verschoben. Auch der technische Fortschritt, beispielsweise in Form neuer Dämmmaterialien und besserer Konstruktionen wie mehrfachverglaste und dichtere Fenster, trug dazu bei, dass heute Gebäude im Winter genutzt werden können.

Die neuen Möglichkeiten schufen auch neue Probleme. Durch die Kombination von undichter Gebäudehülle und Beheizung sank im Winter die relative Luftfeuchtigkeit in vielen Innenräume unter kritische Werte. Es wurden erste Befeuchtungssysteme eingesetzt und in den 50er und in 60er Jahren des 20. Jh. folgten die ersten Klimaanlageanlagen.

Die Klimatechnik wurde auch für Museen zum Heilsversprechen. Die Technik regelt das Klima – mit zum Teil fatalen Folgen. Einerseits ist die Technik nur so gut wie ihre Steuerung und andererseits neigen Nutzer dazu, der Technik immer mehr zu vertrauen und früher übliche Überwachungsaufgaben an technische Systeme abzugeben. Dabei wird oft übersehen, dass das Raumklima in vielen Depots gar nicht aktiv beeinflusst ist². Zunehmend wurden vielerorts die notwendigen regelmäßigen Kontrollgänge in den Depots unterlassen und die Sammlungen vernachlässigt.

Wahrscheinlich haben wir mehr Kulturgut durch schlechten Gebäudeunterhalt, nicht funktionierende Technik und Vernachlässigung der Sammlungen verloren, als wir die Lebenserwartung der Objekte durch Technik (z. B. Entfeuchtung oder Klimatisierung) verlängert haben.

Mit dem Anwachsen der Sammlungen wuchs auch ihr Platzbedarf. Immer neue Räume wurden zu Depots umfunktioniert - geeignete und weniger geeignete - auch in Kellern und auf Dachböden, zunehmend auch fernab der eigentlichen Museen.

Das „richtige Klima“ für Kulturgut ist die Angstfrage Nr. 1, die sich im Zusammenhang mit der Aufbewahrung von Kulturgut immer wieder stellt. Dabei gibt es eine

² Wir sprechen von einer aktiven Beeinflussung, wenn mindestens eine der vier thermodynamischen Funktionen Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten zum Einsatz kommen. Von Klimatisierung sprechen wir nur, wenn alle vier thermodynamischen Funktionen in einem System möglich sind.

Vielzahl anderer, nicht minder relevanter Risiken für Sammlungen, die aber kaum so gut messbar sind wie das Raumklima (z. B. Risiken durch die Handhabung von Objekten oder Informationsverlust).

Betrachtet man die oft wechselvolle (Klima-)Geschichte vieler Objekte, so erscheint das heute (noch) oft geforderte High-End-Präzisionsklima in Museen und Depots geradezu absurd. Dabei ist zu bedenken, dass Klimatechnik nicht immer so funktioniert, wie sie soll, und auch einmal ausfallen oder außer Kontrolle geraten kann. Inwieweit diese - gar nicht so seltenen - Ausnahmesituationen ggf. weitaus gravierender sind als die bereits erlebte Klimageschichte der Objekte, sei dahingestellt. Bei einem Systemausfall bzw. einer Fehlfunktion der Technik kann es im schlimmsten Fall innerhalb von Tagen oder Wochen zu erheblichen Schäden bis hin zum Totalverlust kommen (z. B. durch Schimmelbefall).

Zweifelloos gibt es Materialgruppen, die empfindlich sind und einer besonderen Behandlung bedürfen. Dies kann jedoch in der Regel im kleinen Rahmen gelöst werden. Der weitaus größte Teil der Sammlungsbestände (>95%) benötigt lediglich eine angemessene Lagerung, die mit gesundem Menschenverstand und relativ geringem Aufwand zu erreichen ist – vorzugsweise eher trocken und kühl. Wie sonst könnten Objekte „ohne technische Krücke“ teilweise Jahrhunderte überdauert haben?

Ziel dieser Publikation

Unser Ziel ist es, eine lesbare Hilfe zu geben, ohne den Text mit Referenzen zu überladen. Wer sich weiter in die Materie vertiefen möchte, sei auf die weiter unten genannten Quellen oder auf die Bibliografie im Anhang verwiesen.

Die in diesem Text vertretene Auffassung über ein sinnvolles Raumklima in Museen und Depots stellen weder eine Norm noch eine Empfehlung dar. Der Text ist auch keine wissenschaftliche Abhandlung, sondern der Versuch, verschiedene Aspekte zusammenzutragen, um eine sachliche Diskussion zu Klima in Kulturgüterdepots zu ermöglichen. Weitere Aspekte wie Sicherheit, IPM (Integrated Pest Management), Notfallplanung etc. stehen *nicht* im Zentrum. Sie werden nur am Rande mit einbezogen.

Der vorliegende Text ist *kein Rezeptbuch*. Es liegt in der Verantwortung der Lesenden, die Aussagen kritisch zu hinterfragen, eigene Schlüsse zu ziehen und eine geeignete Lösung im Alltag sinnvoll umzusetzen.

Für wen ist der vorliegende Text gedacht?

„Angemessenes Klima für Kulturgut, ein vertretbarer Kompromiss - nicht nur Zahlen und Werte“ richtet sich an Museumspersonal und Beteiligte an einem Depotprojekt, die sich mit dem Klima in Depots auseinandersetzen, ein neues Depot konzipieren, planen, umbauen oder einrichten. Ziel ist es, Impulse zu geben und Mut zu machen für einfache, pragmatische Lösungen.

Die folgenden Überlegungen beziehen sich in erster Linie auf die Verhältnisse in den klimatisch gemäßigten Regionen Mitteleuropas. Sie sind *nicht* ohne weiteres auf andere Klimazonen übertragbar. Dies gilt sowohl für kältere oder wärmere als

auch für feuchtere oder trockenere Regionen. Die Sinnhaftigkeit muss für jeden geographischen Standort hinterfragt und die Lösungen angepasst werden.

Wir gehen davon aus, dass dieser Text immer wieder auszugsweise zu Rate gezogen wird. Man möge uns daher nachsehen, dass gewisse Aussagen sich in leicht anderem Kontext wiederholen.

Woher haben wir unsere Informationen?

Die Informationen stützen sich auf die gängige Literatur, vor allem aus dem angelsächsischen Raum, sowie auf unseren eigenen Erfahrungen bei der Planung von über 100'000m² Museumsdepots in den vergangenen 25 Jahren.

Die am leichtesten zugänglichen und ausführlichsten Ressourcen zum Thema Klima in Verbindung mit Kulturgütern sind derzeit:

- 1.) Climate Guidelines auf der Webseite des Canadian Conservation Institute (Komplexe Webseite mit mehreren Online-Tools 2025)

Englisch: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/climate-guidelines.html>

Französisch: <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/conservation-preventive/lignes-directrices-climat.html>

- 2.) Managing Collection Environments: Technical Notes and Guidance des Getty Conservation Institutes (Als PDF herunterladbar 2023)

Englisch: https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/mce-technical-notes-and-guidance.html

Beide Publikationen richten sich an ein informiertes Publikum und sind *keine "leichte Kost" oder gar "Rezeptbücher"* für das Klima in Museen und Depots. Sie eignen sich daher *nicht* als Einstieg in die Materie. Vielmehr sind die beiden Publikationen eine Fundgrube für diejenigen, die sich intensiv mit dem Thema Klima in Museen beschäftigen und auch komplexe Zusammenhänge verstehen wollen. Sie führen auch die einschlägige Literatur zum Thema auf. Diese ist teilweise auch im Literaturanhang Seite 64 zu finden.

In deutscher Sprache gibt es unseres Wissens keine geeigneten Hilfestellungen; zu groß ist die Scheu, sich zu äußern. Gemessen, geredet und gefordert wird viel – konkret gehandelt leider (zu) wenig.

Herausforderungen

Kulturgüterdepots sind auf Dauer angelegt. Die darin aufbewahrten Objekte sollen langfristig erhalten bleiben. Der Bau, die Einrichtung *und der Betrieb* eines Depots sind daher langfristig zu sehen.

Angesichts der wachsenden Aufgaben der öffentlichen Hand und der knapper werdenden Ressourcen sind wir der Auffassung, dass die erforderlichen Mittel für den Bau und den Betrieb hochtechnisierter, energieintensiver und immer größer werdender Depots in absehbarer Zeit nicht mehr in dem Maße zur Verfügung

stehen werden, wie dies in den vergangenen Jahrzehnten der Fall war. Vorrangiges Ziel muss es daher sein, die Infrastruktur für die Aufbewahrung unserer Kulturgüter mit vertretbarem Aufwand und zu tragbaren Kosten bestmöglich zu gestalten. Damit soll sichergestellt werden, dass die Infrastruktur auch langfristig betrieben werden kann und damit den Kulturgütern angemessene Aufbewahrungsbedingungen geboten werden können. Die Depots müssen aber auch unter ungünstigeren Bedingungen (z. B. bei Geld- oder Energiemangel oder Ausfall der Technik) einen ausreichenden Schutz für das eingelagerte Kulturgut bieten. Die Zukunft gehört widerstandsfähigen Gebäuden in robuster Bauweise mit keiner oder wenig Haustechnik. Sie müssen einfacher und kostengünstiger zu betreiben sein, als dies heute meistens der Fall ist.

Museen und Archive haben eine gesellschaftliche Funktion. Ihre zentrale Aufgabe ist unter anderem die sachgerechte Aufbewahrung wichtiger Zeugnisse unserer materiellen Kultur. Museen sind aber dem Anliegen der langfristigen Sicherung unserer natürlichen Lebensgrundlagen untergeordnet und müssen deshalb Prioritäten setzen, vertretbare Risiken eingehen und Lösungen suchen, die kulturell, ökonomisch und ökologisch vertretbar sind. Wir müssen daher wieder etwas bescheidener werden, nicht zuletzt weil auch die grossen Herausforderungen durch die Klimaerwärmung anzunehmen sind.

Wie sagte doch ein früherer Schweizer Bundesrat, der aus einfachsten Verhältnissen kommend sich hochgearbeitet hatte: „*Wir haben weder Zeit noch Geld, die Milchstrasse zu pasteurisieren*“ Willi Ritschard 1918 – 1983.

Winterthur im Dezember 2025, Joachim Huber

Dieser Leitfaden ist all jenen Restauratoren sowie Sammlungs- und Klimatechnikern gewidmet, die sich seit Jahrzehnten für einfache Lösungen einsetzten, aber in einer Zeit der Technikgläubigkeit und des Energieüberflusses kein Gehör fanden.

2 Einleitung

Das richtige Klima in Depots, Magazinen und Ausstellungen ist eine wichtige Voraussetzung für die langfristige Erhaltung von Kulturgütern³. Organische Materialien wie Holz, Papier, Textilien oder Leder reagieren zum Teil empfindlich auf klimatische Veränderungen. Zu hohe Luftfeuchtigkeit kann zu biologischem Zerfall (Schimmel) führen, zu niedrige Luftfeuchtigkeit zu Sprödigkeit und irreversiblen Verformungen. Anorganische Materialien wie Metalle korrodieren bei zu hoher Luftfeuchtigkeit, bestimmte Glassorten zersetzen sich bei zu niedriger oder zu hoher Luftfeuchtigkeit. Chemisch instabile Materialien wie Film- und Fotobestände oder Kunststoffe benötigen kühle und eher trockene Umgebungsbedingungen, um die chemische Zersetzung zu verlangsamen.

Die Klimaanforderungen für Ausstellungen unterscheiden sich zum Teil erheblich von denen für Depots, da unterschiedliche Bedürfnisse von Menschen (Besucher, Personal) und Objekten erfüllt werden sollen. *Ein Universalklima, das beide Anforderungen ganzjährig sinnvoll erfüllt, gibt es nicht.* Ausstellungen und Depots sind hinsichtlich des Raumklimas unabhängig voneinander zu betrachten sind. *Während das Klima in Ausstellungen eher auf den Komfort der Besucher ausgerichtet ist, steht beim Klima in Depots und Magazinen die optimale Langzeitkonservierung der Objekte im Vordergrund.*

Auch die Gebäudehülle muss den unterschiedlichen klimatischen Bedingungen innerhalb und außerhalb des Depots Rechnung tragen, um die Bausubstanz nicht zu gefährden (z. B. durch kondensierende Feuchtigkeit).

Die zunehmende Klimaerwärmung ist eine weitere Herausforderung, die zu berücksichtigen ist und die uns zum Um-, Weiter- und Neudenken zwingt.

Ein weiterer Aspekt ist die Schadstoffbelastung in vielen Sammlungsbeständen (z. B. durch Biozide aus früheren Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen). Schadstoffbelastete Luft muss ggf. gefiltert oder mit aufbereiteter Frischluft verdünnt werden, was einen erhöhten Aufwand bedeutet. Im Umkehrschluss kann man sagen, dass saubere Sammlungsobjekte und saubere Depots indirekt dazu beitragen eine tolerierbare Schadstoffbelastung in der Luft von Depots zu erreichen.

³ Der Begriff „langfristig“ kann sehr unterschiedlich ausgelegt werden. Eine Menschengeneration umfasst etwa 25 bis 35 Jahre. 100 Jahre zurück wäre bereits der Übergang von den Urgroßeltern zu den Großeltern - eine Zeit, von der die meisten von uns nur noch eine sehr vage Vorstellung haben. Vielleicht ist es daher nicht verkehrt, den Begriff „langfristig“ auf einen Zeitraum von 100 Jahren zu beziehen.

Die Aufrechterhaltung guter klimatischer Bedingungen erfordert Ressourcen aller Art (Raum, Ausrüstung, Personal für die Überwachung, die Wartung und die Instandhaltung, Finanzen usw., meistens auch Energie). Dabei sind verschiedene Faktoren zu berücksichtigen, die nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können:

- **Welche Klimawerte streben wir an?**
Welches Klima ist erstrebenswert, welches ist notwendig, welches ist im Gesamtkontext noch annehmbar und auf was können wir verzichten (bringt keinen Mehrwert)?
- **Welche absoluten Grenzwerte für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit wollen wir einhalten, um die Objekte nicht zu gefährden?**
Z. B. ein Grenzwert, bei dessen Überschreitung mit einem deutlich beschleunigten Schimmelpilzwachstum zu rechnen ist.
- **Mit welchen *baulichen und gestalterischen Maßnahmen* können klimatische Störfaktoren minimiert werden?**
Z. B. Verwendung von Vorräumen, dichte Gebäudehülle einschließlich Türen, Tore und Fenster, Verwendung von geeigneten Dämmstoffen und feuchtepuffernden Materialien.
- **Welche *betrieblichen Aspekte* müssen erfüllt sein, um Störfaktoren zu minimieren?**
Z. B. Vermeidung offener Türen und Fenster, Beschränkung des Zutritts (Anzahl der Personen, Aufenthaltsdauer im Depot).
- **Wie können wir vorhandene Schadstoffe reduzieren und angemessene Arbeitsbedingungen für die MitarbeiterInnen schaffen?**
Z. B. durch regelmäßige Reinigung, Luftfilterung, Lüftung (Luftaustausch)
- **Wie können Depots und ihre Ausstattung so geplant werden, dass sie leicht zu reinigen sind?**
Z. B. gut reinigbare Oberflächen, Zugänglichkeit der Lagertechnik, so dass darunter/dahinter gut gereinigt werden kann.
- **Sind wir bereit den Aufwand zu betreiben, die Depots sauber zu halten?**
Z. B. Planung regelmäßiger Reinigungskampagnen in den Depoträumen und im Objektbestand
- **Was erträgt ein Gebäude aus bauphysikalischer Sicht?**
Z. B. Gefahr von Kondensat am und im Bauwerk im Zusammenwirken von Bauwerk, Dämmung, Dichtheit der Gebäudehülle und angestrebtem Klima (v. a. Feuchte).

Bei *aktiv beeinflusstem Klima*⁴ zudem:

- Verwendung eines jahreszeitlich gleitenden Klimas mit höheren Sollwerten im Sommer und niedrigeren Sollwerten im Winter.
- Welche Möglichkeiten gibt es, Wärme/Kälte und Feuchtigkeit innerhalb des Gebäudes zu transportieren?
Z. B. Bauteilaktivierung (Tabs), Wandtemperierung
- Welche *Luftaustauschrate* wird angestrebt?
Welcher Anteil der Luft in einem Raum wird im Laufe eines Tages durch Frischluft ersetzt? In einem Depotraum mit geringer Personenbelegung kann dieser Luftaustausch naturgemäß geringer sein als in einer Ausstellung mit zahlreichen Besuchern.

⁴ Siehe Abschnitt 10 Begriffe, Seite 52

- **Welche Luftumwälzungsrate wird angestrebt?**

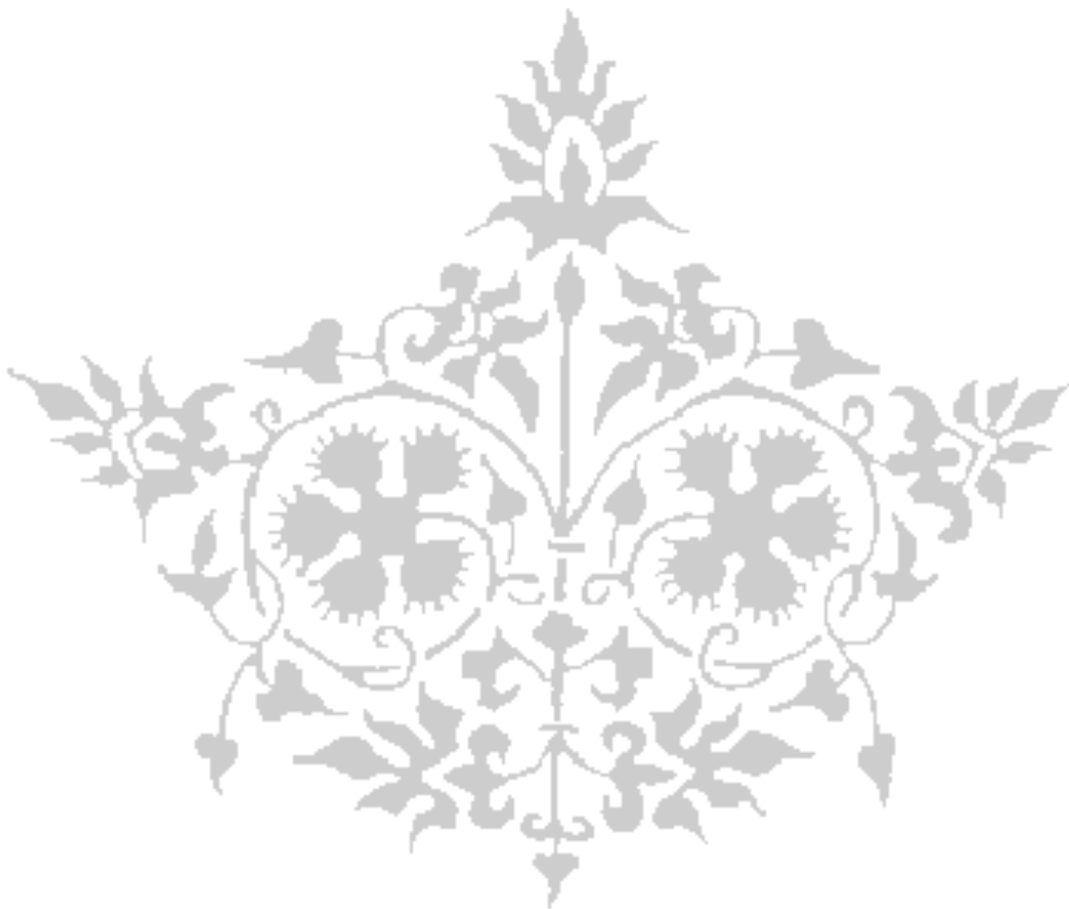
Wie viele m³ Luft werden pro Stunde durch die Klimaanlage umgewälzt, aber nicht unbedingt durch ggf. aufbereitete (konditionierte) Frischluft ersetzt?

- **Welche Filterklassen sollen eingesetzt werden?**

Je höher der Abscheidegrad, desto aufwändiger ist die Maßnahme (material-, energie- und kostenintensiver). Die Abscheidung gasförmiger Schadstoffe verschiebt den technischen und finanziellen Aufwand nochmals in ganz andere Größenordnungen.

- **Welche Investitions- (Bau) und Unterhaltskosten (Betrieb) sind für den Bauherrn bzw. Betreiber langfristig tragbar?**

Z. B. Kosten für Anlagentechnik und Steuerungstechnik sowie deren Überwachung, Wartung und Instandhaltung, Energie etc.



3 Acht Fragen, die man sich stellen sollte

1 Langfristig angelegte Strategie

Die Aufbewahrung von Kulturgut ist eine Daueraufgabe in Museen und Archiven mit dem Ziel, die Objekte mit vertretbarem Aufwand so lange wie möglich zu erhalten. Dabei muss man sich bewusst sein, dass der Zerfall zwar verlangsamt werden kann, dass aber jedes Objekt wie jedes Lebewesen eine endliche Lebensdauer hat.

Die Materialalterung wird durch verschiedene Faktoren wie Handhabung, Licht, Temperatur, Feuchtigkeit, Schädlingsbefall, Schadstoffe etc. beeinflusst. Maßnahmen zur Verbesserung der Aufbewahrungssituation sind nach Aufwand und Nutzen gegeneinander abzuwägen.

Frage 1: Wie können wir heute und in Zukunft die begrenzten Ressourcen am effektivsten einsetzen, damit auch in 100 Jahren noch möglichst viele *relevante* Kulturgüter vorhanden sind?

Die Antworten auf diese Frage können sowohl strategischer (z. B. gezielter und weniger sammeln, Sammlungen reduzieren) als auch technischer Natur sein wie z. B. angemessene (v.a. klimatechnische) Anforderungen, Passivgebäude, geeignete Baumaterialien, mit vertretbarem Aufwand realisierbare technische Lösungen, einfache und beherrschbare Klimatechnik.

2 Einfache Klimatechnik

Je einfacher und passiver das Klima in einem Depot oder Archiv erreicht werden kann, desto günstiger wirkt sich dies auf die Erstellungskosten, aber auch auf die Betriebs- und Unterhaltskosten aus. Innerhalb der klimatischen Vorgaben sind immer möglichst stabile Werte mit möglichst geringem technischem Aufwand anzustreben, wobei heute auch die kurz- und mittelfristige Entwicklung der lokalen Witterung vorausschauend berücksichtigt werden kann.

Leitwerte sind die *relative Luftfeuchtigkeit* und ein möglichst geringer *Energieverbrauch*, wobei die Behaglichkeit für den Menschen in den Depots von *untergeordneter* Bedeutung ist. So kann z. B. im Winter die Temperatur für die meisten Objektgruppen grundsätzlich so weit abgesenkt werden, dass die relative Luftfeuchtigkeit in vielen Fällen ohne Befeuchtung innerhalb des vorgegebenen Bereichs gehalten werden kann.

Frage 2: Welche Klimasituation ist geeignet, ein Objekt in seiner Materialität, seinem Erscheinungsbild, seiner Aussage und ggf. seiner Funktion langfristig zu erhalten?

Zu berücksichtigende Parameter sind: Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und damit verbundene Schwankungen, aber auch die Bedeutung eines Objekts sowie Nachhaltigkeit und wirtschaftliche Tragfähigkeit.

3 Schadstoffe und Lufthygiene

Ein Depot ist per Definition *kein ständiger Arbeitsplatz*. Dennoch müssen zum Wohle des Personals gewisse Mindeststandards bezüglich der Lufthygiene eingehalten werden. Insbesondere bei mit Schadstoffen kontaminierten Beständen (z. B. durch frühere Behandlungen mit Bioziden) muss für eine akzeptable Situation gesorgt werden. Drei Faktoren können die Situation entscheidend beeinflussen:

1. Sauberkeit der Objekte und der Depots selbst, um die Aufwirbelung von (kontaminiertem) Staub bei der Bewegung und Handhabung der Sammlungsbestände zu minimieren.
2. Filterung der Luft zur Reduzierung interner und externer Schadstoffe
3. Minimierung des Luftaustausches und bedarfsgerechte Anpassung des Luftaustausches in Räumen, die von Personen aktiv genutzt werden, mit dem Ziel, die insgesamt aufzubereitende Frischluftmenge zu minimieren.

Frage 3: Welche Maßnahmen müssen zum Schutz der Beschäftigten getroffen werden, damit ein gefahrloses Arbeiten möglich ist?

4 Integrated Pestmanagement (IPM)

Da Biozide zur Schädlingsbekämpfung heute in der Regel nicht mehr das Mittel der Wahl sind, kommt den vorbeugenden Maßnahmen besondere Bedeutung zu. Für die Entwicklung und Vermehrung von Schädlingen aller Art (Insekten, Schimmelpilze, Nagetiere) ist neben der Sauberkeit die klimatische Situation entscheidend. Undichte Gebäudehüllen begünstigen das Einsickern unkonditionierter Aussenluft (zu feucht, zu trocken, zu warm zu kalt), das Eindringen unerwünschter Schädlinge sowie von Staub und Luftschadstoffen.

Frage 4: Welche Situation ist in Depots anzustreben, damit es den Objekten gut geht und gleichzeitig der Entwicklung/Ausbreitung von Schädlingen möglichst entgegengewirkt wird?

5 Vermeiden von Extremsituationen

Hohe Luftfeuchtigkeit und hohe Temperaturen bieten optimale Bedingungen für die Entwicklung von Schimmelpilzen und Insekten.

Sehr niedrige Luftfeuchtigkeit führt z. B. zum Ausbau von in den Zellwänden gebundenem Wasser in Holzobjekten und deren irreversibler Verformung.

Frage 5: Welche baulichen und betrieblichen Maßnahmen sind zu treffen, um vorhersehbare klimatische Extremsituationen möglichst zu vermeiden?

6 Aufbewahrungsgeschichte von Sammlungen und Objekten

Jedes Objekt hat seine eigene Klimageschichte mit den entsprechenden Schwankungen, die es seit seiner Entstehung erfahren hat. Das Objekt hat sich in dieser Zeit verändert und der Situation angepasst.

Unter vergleichbaren klimatischen Bedingungen können sichtbare oder unsichtbare Risse in Objekten oder das sich voneinander Lösen von Schichten nicht an der gleichen Stelle wieder auftreten, es sei denn, die alte beschädigte Stelle wird wieder zusammengefügt oder verklebt (z. B. bei einer Restaurierung). Wird ein Objekt erneut den gleichen Schwankungen ausgesetzt, die den Riss verursacht haben, öffnet und schließt sich der Riss einfach wieder.⁵

Frage 6: Welches Auf und Ab haben die Objekte oder Sammlungen in der Vergangenheit bereits erlebt? Was kann man ihnen erneut zumuten, ohne dass sie weiteren Schaden nehmen?

7 Risiken

Jede Situation und jede Handlung sind mit Risiken verbunden. Welche Risiken wollen wir minimieren, welche sind wir bereit zu tragen? Die klimatischen Bedingungen sind dabei nur eine Risikogruppe neben anderen wie Beschädigung durch Handhabung, Nutzung, Licht, Feuer, Überschwemmung etc.; Verlust durch Zerstörung, Diebstahl, Vernachlässigung oder Bedeutungsverlust durch Kontext- und Informationsverlust.

Durch die Klimaerwärmung werden Ereignisse wie Starkregen, Hochwasser, Sturm, Rutschungen und Veränderungen des Grundwasserpegels zunehmen. Die Lage von Depots und Archiven kann dadurch zum Risiko werden, beispielsweise durch ihre topografische Lage in Fluss- oder Seenähe, in Senken, Überflutungsbereichen oder in Rutschungsgebieten sowie durch ihre räumliche Lage in Untergeschossen oder gar im Grundwasser (Ja, das gibt es ...).

Auch die aktive Beeinflussung des Klimas (Entfeuchten, Befeuchten, Heizen, Kühlen) stellt bei Ausfall ein erhebliches Risiko dar, das in die Gesamtrisikobewertung einzubeziehen ist. Insbesondere in Verbindung mit ungeeigneten Gebäudehüllen (Undichtigkeiten, Feuchtigkeit, ungenügende oder falsche Dämmung) ist ein Ausfall der Technik oft schon nach kurzer Zeit fatal.

Frage 7: Welche Maßnahmen zur Risikominderung haben eine große Hebelwirkung auf den langfristigen Erhalt bzw. die Lebenserwartung eines Objekts?

(z. B. ein dichtes Gebäude, das ohne aktive technische Maßnahmen selbst ein stabiles und angemessenes Klima aufweist und die Objekte vor Verschmutzung und unbefugtem Zugriff schützt).

«Je planmässiger die Menschen vorgehen, desto wirksamer trifft sie der Zufall»
Friedrich Dürrenmatt (1921-1990) in: «Die Physiker» 1961

⁵ Siehe Abschnitt 4.6 Historische Schwankungen (Proofed Fluctuation) S. 22

8 Das 90 % zu 10 % - Prinzip

Je enger die Klimaziele gefasst werden, desto komplexer und aufwändiger wird das Klimamanagement. Für die letzten 10% bis zum ambitionierten Ziel ist der Aufwand unverhältnismäßig hoch. Hier sind Kompromisse einzugehen oder Sonderkonditionen in kleinem Rahmen für wenige, ausgewählte und bedeutende Sammlungsbestände bereitzustellen.

Frage 8: Wo liegt das vertretbare Optimum zwischen Aufwand (Energie, Material/Technik, Zeit/Personal, Kosten) und dem Ertrag (Verlängerung der Lebensdauer eines Objekts)?

Fazit oder andersherum gefragt:

Nach welcher Zeit sind wir bereit zu akzeptieren, dass ein Objekt «verbraucht» und am Ende seiner Lebensdauer angelangt ist? Nicht jedes Objekt ist gleich wichtig; nicht jedes Objekt rechtfertigt den gleichen Einsatz von Ressourcen. Nicht jedes Objekt muss erhalten werden. Doch was uns lieb und teuer ist, soll gut aufbewahrt und gepflegt werden.

Die Grundfrage (und Aufgabe unserer und kommender Generationen) ist:

Wie können wir heute und in Zukunft die begrenzten Ressourcen am effektivsten einsetzen, damit auch in 100 Jahren noch möglichst viele *relevante* Kulturgüter vorhanden sind?

4 Klima in Depots

Das Klima, in dem ein Objekt aufbewahrt wird, ist entscheidend für seine Erhaltung. Dabei spielen die Temperatur (T), die relative Luftfeuchtigkeit (rF) und deren Schwankungen eine Rolle.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Klimageschichte eines Objekts. Was hat ein Objekt im Laufe seines Bestehens bereits erlebt und wie hat es darauf reagiert bzw. wie hat es sich über einen längeren Zeitraum der Situation angepasst? Ein Objekt kann einerseits Risse oder Verformungen aufweisen, die auf seine Klimageschichte zurückzuführen sind und damals - unter nicht optimalen Bedingungen - als «Entspannungsreaktion» im Material entstanden sind. Andererseits kann sich ein Objekt über Jahrzehnte langsam an die Klimasituation beispielsweise in einer ungeheizten Kirche gewöhnt haben.

Temperatur (T) und relative Luftfeuchte (rF) beeinflussen die chemische Zersetzung und damit die Lebensdauer eines Objekts. Innerhalb des zulässigen Klimabereichs für Material- oder Objektgruppen sind, wenn keine anderen Gründe dagegensprechen, kühlere und trockenere Bedingungen zu bevorzugen⁶, da diese zu einer geringeren chemischen Zersetzung⁷ (= höhere Lebensdauer) führen.

Als Faustregel gilt:

- Im moderaten Temperaturbereich führt eine Reduktion um ca. 5° C etwa zu einer Verdoppelung der Lebenserwartung.
- Eine Halbierung der relativen Luftfeuchte führt etwa zu einer Verdoppelung der Lebenserwartung.

Beispiele: Bei gleicher relativer Luftfeuchte ist bei einer Temperatur von 16° die Lebenserwartung eines Objekts ungefähr doppelt so hoch wie bei 21° C.

Bei gleicher Temperatur ist bei einer relativen Luftfeuchte von 35% rF die materialbezogene Lebenserwartung eines Objekts ungefähr doppelt so hoch wie bei 70% rF.

Dosis-Betrachtung in Zusammenhang mit Klimavorgaben

Wenn aus technischen, wirtschaftlichen oder ökologischen Gründen zu einem bestimmten Zeitpunkt eine höhere relative Luftfeuchte und/oder eine höhere Temperatur toleriert werden muss⁸, kann dies zu einem anderen Zeitpunkt durch die Nutzung einer kühleren und trockeneren Situation zumindest teilweise ausgeglichen werden. Der Verkürzung der Lebensdauer eines Objektes durch höhere Temperatur und relative Luftfeuchte steht die Verlängerung der Lebensdauer

⁶ Dies kann der Fall sein, wenn ein Objekt durch eher trockenere Aufbewahrung unflexibler und brüchiger wird und dadurch in seiner Handhabung etwas gefährdeter ist. Dann braucht ein Objekt eine besonders vorsichtige Handhabung bzw. eine angemessene Akklimatisation vor der Nutzung.

⁷ Die wichtigsten Mechanismen bei der chemischen Zersetzung von Kulturgut sind in diesem Zusammenhang die Hydrolyse und die Korrosion.

⁸ Dies ist beispielsweise beim einem sogenannten „saisonal gleitenden Klima“ der Fall.

durch trockenere und kühlere Bedingungen gegenüber. Ähnlich wird oft auch bei der Schädigung durch Licht mit der Dosis (Luxstunden, lxh) argumentiert.

4.1 Relative Luftfeuchtigkeit

Eine niedrige relative Luftfeuchte führt in der Regel zu einer Versprödung von organischem Material. Relative Luftfeuchten unter ca. 35 % rF kann beispielsweise bei Holzobjekten zu Austrocknung, Versprödung und Dimensionsänderungen führen. Unterhalb dieses sogenannten Fasersättigungspunkt wird in der Zellstruktur des Holzes gebundenen Wassers ausgebaut und kann zu irreversiblen Verformungen führen (Schwund)⁹. Eine eher trockene bis sehr trockene Lagerung ist z. B. für archäologisches Eisen, Blankeisen und bestimmte Gesteinsarten (z. B. Pyrit, Salze) erforderlich.

Eine höhere relative Luftfeuchte führt eher zu einer Erweichung des Materials. Dies ist erwünscht bei organischen Materialien wie Leder und Pergament, die geschmeidig gehalten werden sollen aber auch bei (Elfen-)Bein oder fragilen Lackarbeiten. Zudem ist eine höhere relative Luftfeuchte bei Objekten erwünscht, die zu Salzausblühungen neigen (z. B. ungebrannte Irdenware).

Mit zunehmender relativer Luftfeuchte (und Temperatur) steigt jedoch auch die Gefahr eines aktiven Schimmelpilzbefalls durch die immer und überall in der Luft vorhandenen Pilzsporen. Bei relativen Luftfeuchten ab ca. 65 % rF ist bereits bei moderaten Temperaturen mit akutem Schimmelpilzwachstum zu rechnen (siehe Abbildung 2).

Tipp: Zu bedenken ist, dass für das Wachstum von Schimmelpilzen eine ausreichende Menge frei verfügbares Wasser im Material (z. B. Holz, Textilien, Papier, Karton, Farbe oder Staub) vorhanden sein muss¹⁰. Es kann daher der Fall sein, dass in einem Raum noch eine unbedenkliche Luftfeuchte gemessen wird, während an einer kühlen Aussenwand oder an der Oberfläche eines kühleren Objekts bereits ein ungünstiges (zu feuchtes) Mikroklima vorhanden ist, das Schimmelpilzwachstum ermöglicht.

Bei einem durch früheren Schimmelpilzbefall *vorgeschädigten* Objekt kann es zudem schneller zu erneutem Schimmelpilzwachstum kommen, da ein eingedrungenes Schimmelpilzmyzel durch eine oberflächliche Reinigung nicht vollständig entfernt werden kann. Die klimatischen Bedingungen sind daher in diesem Fall besonders sorgfältig zu kontrollieren und im eher trockenen Bereich zu halten.

Sehr hohe oder sehr niedrige relative Luftfeuchte ist in der Regel nur für einen kleinen Teil der Sammlungen erforderlich, was durch punktuelle Lösungen erreicht werden kann (z. B. dichte, passiv gepufferte Schränke oder aktiv mikroklimatisierte Vitrinen). Der Rest der Sammlungen kann in moderater relativer

⁹ Wir gehen bewusst mit der relativen Luftfeuchtigkeit bis auf 35 % rF, obschon der sogenannte „Klimakorridor“ 40% vorsieht. Bei entsprechend sorgfältiger Handhabung der Objekte stellt dies keine Gefahr dar, da z. B. der Fasersättigungspunkt bei den meisten gängigen Holzarten zwischen 22 % rF und 35 % rF liegt. Auch Textilien sind bei tiefer relativer Luftfeuchtigkeit spröder und müssen daher sorgfältiger gehandhabt werden (z.B. auf einer stabilen Unterlage).

¹⁰ Die korrekte, aber nur mit speziellen Geräten feststellbare Messgröße wäre hier die Wasseraktivität (aw).

Feuchte aufbewahrt werden. Viele Sammlungsobjekte bestehen aus verschiedenen Materialien und können daher nicht einer bestimmten Materialgruppe zugeordnet werden – ein Kompromiss ist erforderlich.

Depoträume weisen in der Regel *kein* völlig homogenes Raumklima auf. An Wänden, Böden und Decken werden andere Temperaturen gemessen als beispielsweise in der Raummitte. In der Nähe von Türen und ggf. Fenstern ebenfalls. In der Vertikalen gibt es immer eine gewisse, wenn auch meist schwache Temperaturschichtung. Kühlere Stellen in einem Raum weisen tendenziell eine höhere relative Luftfeuchte auf. *Entscheidend ist die tatsächliche Situation, welcher ein Objekt ausgesetzt ist.*

Siehe auch Abschnitt 4.3 Kalte-Wand-Problematik und Abschnitt 4.4 Maximal- / Minimalwerte (relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur).

Sonderfall Cellulose (Holz, Papier, Karton)

Aufgrund der chemischen Struktur zeigt Cellulose ein besonderes Verhalten bezüglich Feuchteaufnahme und Feuchteabgabe (Hysterese). Entgegen der Erwartung steigt bei einer Temperaturerhöhung die relative Luftfeuchtigkeit in einem Raum mit einem grösseren Anteil Cellulosematerial. Dies ist z.B. bei Archiven und Bibliotheken sowie bei Räumen und Behältnissen mit grossem Anteil an unversiegeltem Holz zu berücksichtigen und spielt auch beim sog. konservatorischen Heizen (*Conservation Heating*) eine Rolle.

4.2 Temperatur

Die Temperatur in den Depots orientierte sich in den vergangenen Jahrzehnten häufig an der Behaglichkeit der Nutzer, die oft über längere Zeiträume in den Depots arbeiteten oder dort sogar ihren ständigen Arbeitsplatz hatten. Depots sind nach den heutigen Arbeitsschutzbestimmungen *keine* Dauerarbeitsplätze, da in Depots im Idealfall kein Tageslicht vorhanden ist. Längere Arbeiten am Objekt sollten daher, wenn möglich und sinnvoll, außerhalb des Depots in geeigneten Arbeitsräumen durchgeführt werden. Dadurch kann sich die Temperatur in Depots in erster Linie an den Bedürfnissen der Aufbewahrung der Objekte und nicht an der Behaglichkeit des Personals orientieren. Die Temperatur in einem Depot kann sich daher von der Temperatur in einem Arbeits- oder Ausstellungsraum unterscheiden, was zu einem geringeren Energieverbrauch führt.

Grundsätzlich plädieren wir im Winter für ein eher kühl-trockenes Depotklima im zulässigen Bereich. Dies bedeutet, dass a.) weniger geheizt und b.) weniger befeuchtet werden muss. Für Arbeitsräume gelten grundsätzlich die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung.

Angemessene Temperaturgrenzen

In Depots mit nicht klar ausdifferenzierten Mischbeständen (inkl. Zinn¹¹, Acryl¹²) sollte die Temperatur nicht unter 15° C abgesenkt werden. Bei den meisten anderen Materialgruppen spricht jedoch nichts gegen eine natürliche Absenkung der Lagertemperatur im Winter auf bis zu 5° C, sofern angemessene relative Luftfeuchten eingehalten werden und keine abrupten Klimawechsel bei der Benutzung erfolgen.¹³ Dichte und gut gedämmte Gebäude kühlen nur langsam aus und werden im Winter kaum unter 10°C abkühlen. Niedrige Temperaturen erfordern ggf. eine etwas vorsichtiger Handhabung wegen der höheren Sprödigkeit der kalten Materialien (ebenso wie bei niedriger Luftfeuchtigkeit).

Um eine aktive Kühlung im Sommer zu vermeiden, kann die Temperatur auf bis zu 25 °C ansteigen. Darüber besteht neben der beschleunigten chemischen Zersetzung zunehmend die Gefahr, dass z.B. Wachse und Polymere weich und klebrig werden.

In erster Linie sollte versucht werden, die Temperaturgrenzen durch passive Maßnahmen wie Dämmung, außenliegenden Sonnenschutz oder geeignete Fassadenbegrünung¹⁴ einzuhalten bzw. nicht zu untersch- oder überschreiten. Erst in zweiter Linie sollte aktiv durch Heizen und Kühlen eingegriffen werden.

Kühle Temperaturen

Eine ganzjährige energieintensive Kühlung ist nur in folgenden Fällen sinnvoll:

- A.) Für chemisch sehr instabile Objekte wie z. B. Farbfotografien, Kinofilme, frühe Digitaldrucke, bestimmte Kunststoffe. In der Regel wird hier die Temperatur konstant bei 16° C gehalten, in seltenen Fällen auch darunter.
- B.) Bei Sammlungen, die anfällig für Schädlingsbefall sind (z. B. naturkundliche Präparate, Felle), da die Vermehrung von Insekten bei kühlen Temperaturen unterhalb 16° C stark abnimmt.

Jede Kühlung ist mit einem erheblichen Energieaufwand verbunden, der in einem angemessenen Verhältnis zum erzielten Effekt (längere Lebensdauer des Objekts, weniger Schädlingsbefall) und zur Bedeutung der gelagerten Objekte stehen muss. *Nicht immer ist der Aufwand gerechtfertigt.*

Häufig betreffen diese speziellen Anforderungen nur kleine Sammlungsbestände, die in Kühlschränken oder kleinen Kühlzellen untergebracht werden können.

¹¹ Zinnpest ist eine umgangssprachliche Bezeichnung für Umwandlung von Zinn bei Temperaturen unterhalb von 13,2° C. Dabei wandelt sich das stabile, metallische Zinn in eine spröde, nichtmetallische Form um, die ein deutlich größeres Volumen hat. Dies führt zur Zerstörung des Zinnstücks, da es Risse bekommt, zerbröckelt und zu einem grauen Pulver zerfällt.

¹² Unterhalb der sogenannten Glasübergangstemperatur von ca. 10° C kann Acryl verspröden, ist anfälliger auf Risse und schlechtere Haftung am Untergrund.

¹³ 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.

¹⁴ Bei einer Fassadenbegrünung muss sichergestellt werden, dass *keine* unerwünschten Insekten, Nager oder Vögel durch Öffnungen und undichte Stellen in das Gebäudeinnere gelangen können.

Gegebenenfalls ist auch eine externe Unterbringung bei spezialisierten Institutionen (z. B. Kinematheken) sinnvoll, wo neben den technischen Einrichtungen auch das entsprechende Fachwissen vorhanden ist.

Tipp: Jede Kühlung erzeugt an anderer Stelle Wärme. Kühlaggregate sollten daher nicht im Vorraum von Kühlräumen aufgestellt werden, da sich dieser sonst unnötig aufheizt und ggf. wieder belüftet oder gekühlt werden muss.

Tipp: Ein Hauptproblem bei der Kühlagerung ist das Eindringen wärmerer und feuchterer Luft in den Kühlbereich beim Öffnen der Türen. Aus diesem Grund sind die Türen *immer sofort zu schließen und die kühl zu lagernden Objekte so zu verpacken, dass Klimaschwankungen gedämpft werden* (z. B. in Kartonschachteln).

Die gleiche Problematik besteht auch beim Transport von Objekten in andere (wärmere) Räume. Verpackte Objekte sollten daher vor dem Auspacken einige Stunden in der neuen Umgebung akklimatisiert werden.

4.3 Kalte-Wand-Problematik

An der Oberfläche, d.h. im Grenzbereich von Wand oder Boden zum Raum, wird oft eine deutlich höhere relative Luftfeuchte gemessen als z. B. in der Raummitte. Dies gilt insbesondere für unzureichend gedämmte Außenwände und Dächer sowie für erdberührte Bauteile, die oft deutlich kälter sind als der umschlossene Innenraum. Dies wird als "kalte Wand"-Problematik bezeichnet, bei der an den Oberflächen Klimabedingungen herrschen können, die das Wachstum von Schimmelpilzen begünstigen.

Durch Feuchteeintrag von außen (z. B. durch die Wand oder den Boden), insbesondere bei erdberührten oder anderweitig feuchten oder undichten Bauteilen, kann dieses Phänomen noch verstärkt werden. Der bauphysikalisch richtigen Abdichtung und Dämmung der Gebäudehülle ist daher besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Der Taupunkt (Temperatur, bei der die gesättigte Luft zu kondensieren beginnt) darf weder innerhalb des Gebäudes (Wandoberfläche) noch innerhalb des Mauerwerks liegen.

Objekte, die zu nahe an einer kalten Wand oder direkt auf dem Boden gelagert werden, sind unter Umständen ungünstigen klimatischen Bedingungen ausgesetzt und prädestiniert für Schimmelbefall.

Tipp: Regale, Schränke, Planschubladenkorpusse und Gitter sollten idealerweise *nicht* entlang von Außenwänden bzw. stets mit genügend Abstand zu kühlen Außenwänden aufgestellt werden. Fahrregale sollten im geschlossenen Zustand stets von der Außenwand weggeschoben sein. So wird erreicht, dass sich zwischen Außenwand und Lagereinrichtung kein ungünstiges Mikroklima bildet. Zudem ist der Mauerfuß der Außenwand (in der Regel der kälteste und feuchteste Punkt der Wand) zur Schädlingskontrolle (IPM) einsehbar.

Tipp: Einrichtungsteile wie Schränke und Schubladenkorpusse, die auf Fußgestellen statt auf geschlossenen Sockeln stehen, ermöglichen eine bessere Luftzirkulation und es entstehen keine *nicht* einsehbaren Hohlräume.

4.4 Maximal- / Minimalwerte (Luftfeuchtigkeit und Temperatur)

Als angemessen für die meisten Museen und mit einem geringen Risiko für mechanische Schäden für die meisten Objekte gelten nach neueren Quellen¹⁵ ein Klimabereich von 15° C bis 25° C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 35 %¹⁶ bis 60 %¹⁷. Für viele Objektgruppen sind grundsätzlich bei angemessener Luftfeuchte auch tiefere Temperaturen tolerierbar.

Siehe auch Abschnitt 4.1 Relative Luftfeuchtigkeit und 4.2

Temperatur

Temperaturen im oberen Bereich des Klimabandes werden zwar *nicht* angestrebt, aber im Jahresverlauf über kürzere Zeiträume toleriert, nicht zuletzt aus Gründen der Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit. Gleiches gilt für den Bereich höherer relativer Luftfeuchte (> 55%).

Aufgrund des geringen Objektumschlags in einem Museumsdepot und der Tatsache, dass Depots in erster Linie Aufbewahrungsorte und nicht Arbeitsplätze sind, ist es auch nicht sinnvoll, die Temperatur in Depots an der Behaglichkeit des Menschen (z. B. 19 - 22 ° C) auszurichten. Die klimatischen Bedingungen sollten vielmehr den bestmöglichen Kompromiss zwischen konservatorisch angemessenen Bedingungen für das Objekt und dem für die Klimatisierung erforderlichen Energieaufwand (bzw. dessen Finanzierbarkeit) darstellen. Für Arbeitsplätze gelten die Richtlinien der Arbeitsstättenverordnung.

4.5 Schwankungen von Temperatur (T) und relativer Luftfeuchte (rF)

Temperaturschwankungen sind nie das Ziel einer Maßnahme, sondern ein Kompromiss zwischen Anspruch und Realität. Vorrangiges Ziel muss sein, ein Gebäude so zu planen bzw. zu ertüchtigen, dass Schwankungen (z.B. durch Undichtigkeit der Gebäudehülle, ungenügende Dämmung, Wärmebrücken oder Wärmeeintrag über Fenster) minimiert werden.

Grundsätzlich haben alle Materialien die Tendenz, ihre Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit an die Umgebung anzupassen und sich mit ihr im Gleichgewicht zu befinden. Bei schnellen Änderungen der Temperatur und/oder der relativen Luftfeuchte (großer Unterschied zwischen Objekt und Umgebung) kann dies unter Umständen zu Spannungen im Material führen. Risse, Ablösungen oder Verformungen am Objekt sind die Folge dieser sich aufbauenden Spannungen. Dies

¹⁵ ASHRAE Application Handbook 2023, Chapter 24 (Museums, Libraries and Archives). Diese Publikation wertet eine Vielzahl von Quellen sowie Aussagen von Konservatoren-Restauratoren namhafter Institutionen aus.

¹⁶ Siehe Fußnote 9, Seite 16.

¹⁷ Die Grenze, ab der das Schimmelpilzwachstum akut wird, liegt mit ca. 65 % rF etwas höher. Wir setzen dennoch 60 % als Grenzwert an, da Boden und Wände erfahrungsgemäß etwas kühler sind als der übliche Messort. Damit ist eine gewisse Sicherheitsmarge gegeben.

geschieht z. B. durch ungleichmäßige Dimensionsänderung zweier mehr oder weniger starr miteinander verbundener Materialien oder durch unterschiedlich schnelle Dimensionsänderung innerhalb eines Objektes (z. B. bei Holzobjekten). Grundsätzlich sollten große, abrupte Klimaschwankungen vermieden werden bzw. Klimaschwankungen möglichst langsam erfolgen, damit sich auch langsam ein Temperatur- bzw. Feuchtgleichgewicht im Objekt bzw. zwischen Objekt und Umgebung einstellen kann.

Eine langsame Schwankung der relativen Luftfeuchte innerhalb einer Bandbreite von 10 % rF in 24 Stunden wird für eine große Anzahl von Sammlungsbeständen als angemessen und mit geringem Schadensrisiko für die Objekte angesehen.¹⁸ In vielen historischen Gebäuden sind Schwankungen von 10-15 % rF keine Seltenheit und haben in den meisten Fällen *keine* gravierenden negativen Auswirkungen.

Siehe Abschnitt 4.6 Historische Schwankungen (Proofed Fluctuation)

Tipp: Grundsätzlich ist zu vermeiden, dass Objekte, insbesondere gekühlte, ohne Akklimatisierung zwischen Klimabereichen mit stark unterschiedlichen Temperaturen oder relativen Luftfeuchten bewegt werden. Jeder kennt das Phänomen von Postpaketen, welche im Winter ausgeliefert werden.

Jede - ggf. am Ausgangsort vorkonditionierte - Verpackung glättet die Schwankungen über die Zeit, wenn sie am Zielort nicht sofort, sondern erst nach einigen Stunden wieder geöffnet wird. Dazu braucht es keine Klimakiste!

Tipp: Bei bestehenden Gebäuden ist es oft sinnvoll, undichte Fenster und Türen abzudichten, um das Eindringen ungünstig konditionierter Außenluft (zu trocken, zu feucht, zu kalt, zu warm) zu minimieren. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass durch die erhöhte Dichtigkeit der Feuchtehaushalt *nicht* ungünstig beeinflusst wird (z. B. durch Feuchteniederschlag an der Innenseite einer kalten Fensterscheibe). Dichter ist nicht immer besser.

Schwankungen bei aktiver Beeinflussung des Klimas (Lüftung, Klimatisierung)

Bei aktiver Beeinflussung des Raumklimas und sehr geringen Luftumwälzungsraten ist es klimatechnisch kaum möglich, über die Luft¹⁹ Störfaktoren ausreichend auszugleichen (z. B. das Einströmen von trockener oder feuchter bzw. kalter oder warmer Luft durch eine undichte Gebäudehülle). Es ist daher baulich und betrieblich dafür zu sorgen, dass Störfaktoren so gering wie möglich gehalten werden. Undichte Gebäudehüllen inkl. Fenster und Türen sowie geöffnete Türen und Fenster sind ebenso zu vermeiden wie größere und längere Personenansammlungen in den Depoträumen. Durch Abtrennungen, Türen und Vorräume, Schleusen oder

¹⁸ ASHRAE Application Handbook 2023, Chapter 24 (Museums, Libraries and Archives). Klasse A2

¹⁹ Luft kann Wärme/Kälte und Feuchtigkeit transportieren ist jedoch ein deutlich schlechteres Transportmedium für Wärme und Kälte als Wasser.

Vorhänge kann der Luftaustausch zwischen unterschiedlich konditionierten Bereichen geringgehalten werden (z. B. zwischen Depot und Flur oder zwischen Außenbereich und Anlieferungsbereich).

Müssen aufgrund einer mangelhaften Gebäudehülle extreme Ausnahmesituationen (zu nass, zu trocken, zu warm, zu kalt) kompensiert werden, müssen die haustechnischen Anlagen oft überdimensioniert werden. Diese Leistungsvorhaltung für den Ausnahmefall ist teuer in der Investition und im Betrieb und stellt zudem eine unnötige Energieverschwendung dar.

Kurzfristige, v.a. durch die Technik von Klimaanlage bedingte Schwankungen sind auf $\pm 2^\circ \text{C}$ bzw. $\pm 5\% \text{ rF}$ zu begrenzen.

Tipp: Institutionen, die über eine Notfallplanung verfügen, müssen den Ausfall der Klimaanlage aufgrund von Stromausfall oder Defekt bzw. deren Fehlfunktion in ihre Notfallszenarien mit einbeziehen.

4.6 Historische Schwankungen (Proofed Fluctuation)

Jedes Objekt hat seine eigene Klimageschichte mit den entsprechenden Schwankungen und Risiken, denen es seit seiner Entstehung ausgesetzt war.

Sichtbare oder unsichtbare Risse in Objekten oder Ablösungen von Schichten aufgrund von Spannungen können nicht an der gleichen Stelle wieder auftreten, es sei denn, die alte beschädigte Stelle wird wieder verbunden oder geklebt (z. B. bei einer Restaurierung). Wird ein Objekt erneut den gleichen (oder geringeren) Schwankungen ausgesetzt, die den Riss verursacht haben, öffnet und schließt sich der Riss einfach wieder.

Wenn ein Objekt in der Vergangenheit eine Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit von z. B. 50 % auf 30 % erfahren hat, sind alle mechanischen Schäden, die durch eine einzige Änderung dieser Größenordnung verursacht werden können, bereits eingetreten. Es ist unwahrscheinlich, dass das Objekt in der Zukunft weitere mechanische Schäden erleidet, wenn es erneut vergleichbaren klimatischen Bedingungen ausgesetzt wird. Dieses Konzept wurde von Stefan Michalski (CCI) 1993, 2007²⁰ vorgeschlagen und seither durch zahlreiche Untersuchungen bestätigt.

Dies gilt jedoch *nicht* für Schäden durch biologischen Befall, wie Schimmelpilze oder Insekten aufgrund ungünstiger klimatischer Bedingungen oder Materialermüdungsschäden durch *häufige* Schwankungen.

Ein neues Objekt beginnt seine „Klimageschichte“ mit dem Tag seiner Entstehung, und die Klimageschichte eines älteren Objekts oder Objektteils wird nach einem massiven restauratorischen Eingriff sozusagen zurückgesetzt bzw. neu begonnen.

²⁰ Michalski, S. "The Ideal Climate, Risk Management, the ASHRAE Chapter, Proofed Fluctuations, and Toward a Full Risk Analysis Model" (PDF Format). In F. Boersma, ed., Contribution to the Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, April 2007, Tenerife, Spain. Los Angeles, CA: J. Paul Getty Trust, 2007.

N.B. Natürlich ist es nicht die Meinung, dass man Klimaschwankungen nun keine Beachtung mehr schenken sollte. Geringe Schwankungen sind nach wie vor ein Ziel für ein angemessenes Klima für Kulturgut.

In einem nach heutigen Maßstäben sinnvoll gebauten und betriebenen Depot sind die Schwankungen des Klimas in der Regel geringer als diejenigen, welche die Sammlungen bereits erlebt haben.

4.7 Schwankungen der Klimawerte im Jahresverlauf (Gleitklima)

Im Idealfall folgt das Innenraumklima eines gut geplanten Gebäudes ohne aktive Beeinflussung des Innenraumklimas langsam den jahreszeitlichen Schwankungen des Außenklimas, bleibt aber innerhalb definierter absoluter Grenzen (z. B. 35 - 60 % rF bzw. 15 – 25 °C). Bei Bestandesgebäuden älteren Baujahres können die jahreszeitlichen Klimaschwankungen im Gebäudeinnern aufgrund baulicher Mängel oder ungenügender Luftdichtigkeit teilweise außerhalb dieser Grenzen liegen. Sie können ohne aktive Eingriffe kaum innerhalb der Grenzen gehalten werden, es sei denn z. B. durch Verschattung oder aktive Nachtauskühlung im Sommer.

Bei aktiver Beeinflussung (Teil- oder Vollklimatisierung) des Raumklimas kann durch eine gleitende jahreszeitliche Klimaanpassung innerhalb der absoluten Grenzen für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit das Klima im Sommer eher im oberen und im Winter eher im unteren Bereich energieeffizient gehalten werden. Das bedeutet, dass im Sommer weniger entfeuchtet und im Winter weniger befeuchtet werden muss. Im günstigsten Fall kann auf eine aktive Beeinflussung des Klimas ganz verzichtet werden.

Bei einer *aktiven* Beeinflussung des Innenraumklimas werden die Sollwerte nach oben (Sommer) bzw. nach unten (Winter) verschoben. Das Klima „oszilliert“ dann kurzfristig im Rahmen der maximalen Kurzzeitschwankungen um diesen Sollwert (+/- 2° C bzw. +/- 5 % rF).

Die jahreszeitlich gleitende Anpassung der Sollwerte erfolgt in Schritten von maximal 2° C bzw. 5 % rF pro Woche, um die kurzfristig tolerierbaren Schwankungen nicht zu überschreiten.

Eine Anpassung erfolgt, wenn aufgrund der historischen Daten absehbar ist, dass in den folgenden Wochen ein anderes Zielband mit weniger oder ohne Aufwand (Energie) eingehalten werden kann. Es wird nur ein einziger Verschiebungszyklus (rauf und wieder runter) pro Jahr durchgeführt.

4.8 Heizen und Temperieren

Auch wenn kühle Temperaturen grundsätzlich zu einer Verlangsamung des chemischen Zerfalls führen, kann es Gründe geben, die Raumtemperatur mehr oder weniger anzuheben. Dabei kann Wärme durch Bauteilaktivierung (Wandtemperierung, Baukernaktivierung (Tabs), Bodenheizung), Radiatoren/Konvektoren oder über die Luft einer Klimaanlage in den Raum eingebracht werden. Das Beheizen

eines Raumes beeinflusst die relative Luftfeuchtigkeit direkt: Sie sinkt in der Regel, wenn geheizt, aber nicht befeuchtet wird.²¹ In bestimmten Fällen kann dies von Interesse sein, um eine zu hohe relative Luftfeuchtigkeit zu senken (sogenanntes konservatorisches Heizen, englisch conservation heating²²). Bei kalter und trockener Außenluft im Winter ist dieser Effekt jedoch unerwünscht, da er das ohnehin eher trockene Raumklima weiter austrocknet.

Beim Heizen wird in erster Linie die Luft erwärmt, während beim Temperieren ein Bauteil erwärmt wird und Strahlungswärme abgibt.

Bauteilaktivierung

Bei einer Bauteilaktivierung (Wandtemperierung, Baukernaktivierung (Tabs), Bodenheizung) wird das Bauteil selbst erwärmt. Dadurch gibt es Strahlungswärme an den Raum ab. Diese Form der Beheizung ist sehr träge, hat aber den Vorteil, dass die Vorlauftemperatur niedrig sein kann. Zudem entsteht kaum Zugluft und dadurch wird wenig Staub aufgewirbelt. Durch die Strahlungswärme wird das Raumklima bereits bei 2-3 °C tieferen Temperaturen subjektiv als behaglicher empfunden als bei der Heizung mit Radiatoren/Konvektoren oder über eine Klimaanlage.

Bei der Wandtemperierung wird meistens der Sockelbereich leicht erwärmt, wodurch auch das Mauerwerk austrocknet. Dies führt dazu, dass das Mauerwerk austrocknet und der Wärmedurchgang durch eine Mauer deutlich reduziert und dadurch der Wärmeverlust verringert wird.

Tipp: Achten Sie darauf, dass der Wandbereich nicht verstellt ist und Luft von der Raummitte dem Boden nach zur Wand, dieser entlang nach oben und zurück in die Raummitte strömen kann. So wird die effektivste Raumtemperierung erzielt.

Heizung mit Radiatoren und Konvektoren

Radiatoren und Konvektoren erwärmen in erster Linie die Luft (heizen) und werden meistens mit einer Vorlauftemperatur von 55 – 70°C in Altbauten bis 90 °C betrieben. Die Wände erwärmen sich nur sekundär durch die warme Luft im Raum. Aussenwände bleiben daher in der Heizperiode stets kühler als die Temperatur im Raum. Sie geben kaum Strahlungswärme ab und es entsteht die sogenannte «Kalte-Wand-Problematik»

Siehe Abschnitt 4.3 Kalte-Wand-Problematik.

Aufgrund der großen Temperaturdifferenz zwischen Heizkörper und Bauteilen bzw. Raumluft kommt es zu einer Konvektion (Transport von Wärme durch eine

²¹ Siehe dazu auch Abschnitt 4.1 Relative Luftfeuchtigkeit, Absatz Sonderfall Cellulose, S. 17

²² Mit zunehmender Klimaerwärmung (höherer Temperatur) wird dieses Vorgehen immer weniger möglich sein, da die Temperatur in einem Raum nicht beliebig erhöht werden kann.

Luftströmung), die zu unerwünschten Zugerscheinungen und Staubaufwirbelungen führen kann. Zudem ist die Temperatur im Raum stark geschichtet (oben warm, unten kalt).

Lüftungs- und Klimaanlage

Die seit Mitte des 20. Jahrhunderts im Überfluss verfügbare Energie, die verfügbare Technik²³ und das reichlich vorhandene Geld führten dazu, dass viele Gebäude aktiv teil- oder vollklimatisiert werden. Ein bautechnisch wenig leistungsfähiges Gebäude (schlecht gedämmt, undicht) kann dadurch mit viel Aufwand (Energie) und Technik «ertüchtigt» und klimatisch auf jeden vermeintlich erforderlichen Stand gebracht werden.

Diese mechanischen Systeme führen den Räumen aufbereitete Luft zu. Die Außenluft wird dabei erwärmt oder gekühlt und ggf. auch be- oder entfeuchtet. Da Luft ein schlechtes Medium für den Wärmetransport ist, muss je nach Qualität der Gebäudehülle mehr oder weniger Luft in den Raum geleitet werden, um den entsprechenden Heiz- oder Kühleffekt zu erzielen. Die benötigte Luftumwälzung pro Stunde ist erheblich, erfordert einen grossen technischen Aufwand und führt zu hohen Betriebskosten.

Vorteil der Klimatisierung ist, dass zentral auch die Befeuchtung und Entfeuchtung der Luft geregelt werden kann. Nachteil von Klimaanlage ist, dass sie über ein komplexes System aus Luftkanälen, Klappen, Sensoren, und weitere Regelungen gesteuert und überwacht werden müssen. Jede einzelne dieser Komponente muss gewartet werden und kann ausfallen oder zu einer Fehlfunktion führen.

²³ Wir verwenden hier nicht den Begriff des „technischen Fortschritts“, da gerade in der Klimatechnik und im Bauwesen nicht jede technische Neuerung auch ein Fortschritt war und ist.

5 Luftaustausch, Luftumwälzung, Staubproblematik, Schadstoffe

5.1 Luftaustausch

Jedes Gebäude hat einen natürlichen Luftaustausch durch die Undichtigkeiten der Gebäudehülle (z. B. Lufteintritt durch Ritzen und Spalten bei Fenstern, Türen, Durchbrüchen usw.). Dieser ist bei neueren, sauber konstruierten und dichten Gebäuden bei weniger als einem 0.1-fachen Luftwechsel pro Stunde und vernachlässigbar, kann aber bei älteren Gebäuden sehr hoch sein.

Die Luftaustauschrate²⁴ ist auch in Zeiten effizienter Wärme- und Feuchterückgewinnung in Klima- und Lüftungsanlagen von entscheidender Bedeutung.

Ziel ist es:

A. durch eine möglichst dichte Gebäudehülle das Eindringen von unkonditionierter Außenluft so gering wie möglich zu halten und

B. so wenig wie möglich aus dem Aussenraum angesaugte Frischluft aufbereiten zu müssen.²⁵

Aus Objektsicht kann der Luftaustausch bei unproblematischen, d.h. nicht kontaminierten oder ausgasenden Objektbeständen gegen 0 gehen.

Zwei Aspekte sprechen dagegen:

C.) Komfort und Lufthygiene für das Personal in den Räumen. Die zugeführte Frischluft ersetzt verbrauchte oder belastete Raumluft mit dem Ziel die Lufthygiene in einem Raum zu verbessern (weniger CO₂, weniger Gerüche, weniger Schadstoffe)

D.) die Tatsache, dass Sammlungsobjekte zum Teil selbst Schadstoffe abgeben oder durch frühere Maßnahmen mit Schadstoffen wie Bioziden oder Konservierungsmitteln belastet sind.

Seite Abbildung 3 Kontaminationsmodell S. 61

In der Praxis führt dies in aktiv beeinflusstem Klima in Museumsdepots ohne Kontaminationsproblematik zu einem sehr geringen Luftaustausch von 1- bis 2-mal pro Tag²⁶. Bei vorhandenen Schadstoffbelastungen kann es erforderlich sein, den Luftwechsel zu erhöhen, um die Schadstoffe zu verdünnen, sofern sie nicht

²⁴ Luftaustausch = Anteil des in einem Raum in einem bestimmten Zeitraum durch Frischluft ersetzten Luftvolumens.

²⁵ Aufbereitet bedeutet hier, dass die Luft bzgl. Temperatur und relativer Luftfeuchte so konditioniert wird, dass sie in der Mischung mit der Luft im Raum zur gewünschten Wirkung (Erwärmung/Kühlung bzw. Be-/Entfeuchtung führt)

²⁶ Die entspricht ca. einem 0,042-0,083-fachen Luftaustausch pro Stunde (1:24 bzw. 2:24). Zum Vergleich: für Wohnräume ohne Geruchsbelastung wird üblicherweise ein Luftaustausch von mindestens 0.5 /h angesetzt.

durch andere Maßnahmen, wie z. B. Filterung, reduziert werden können. Die Sauberhaltung der Depots verhindert auch, dass belastete Stäube aufgewirbelt werden und in die Atemluft gelangen.

Da der «Luftverbrauch» aufgrund der geringen Personenbelegung in den Depots sehr gering ist, ist ein kontinuierlicher Luftaustausch *nicht* erforderlich. Pro Person ist mit ca. 15-50 m³ Frischluft pro Stunde zu rechnen. Der Luftaustausch kann auf die Tageszeit gelegt werden, in der günstige(re) Außenluftbedingungen mit dem geringsten Aufbereitungsaufwand herrschen (z. B. in der warmen Jahreszeit nachts oder am frühen Morgen). Bei extremen Außenluftbedingungen (z. B. an einem schwülheißen Sommertag) kann der Luftaustausch auch über mehrere Tage unterbleiben, um den Aufbereitungsaufwand zu minimieren, da die CO₂-Konzentration keinen kritischen Wert erreicht.

Gegebenenfalls können durch eine gezielte temporäre Erhöhung der Luftzufuhr (Boost) in einer Depotzelle die Bedingungen für den Arbeitseinsatz mehrerer Personen über mehrere Stunden kurzfristig deutlich verbessert werden. Dies geht bei konstanter Gesamtluftmenge zu Lasten anderer Depoträume, denen im gleichen Zeitraum über die Volumenstromregelung weniger Luft zugeführt wird. Je kleiner die betroffene Lagerzelle und je höher die Personenbelegung ist, desto stärker wirkt sich dieses Verfahren der temporären aktiven Erhöhung der Luftmenge (Boost) aus.

Abhängig von den Witterungsbedingungen außerhalb des Depots unterscheidet sich die Frischluft von der Raumluft innerhalb des Depots (wärmer, kälter, feuchter, trockener). Dies bedeutet einerseits, dass sie im Idealfall ohne oder mit nur geringer Aufbereitung zur Beeinflussung der Raumluftbedingungen im Inneren (Temperatur, Feuchte) eingesetzt werden kann. Andererseits bedeutet dies aber auch, dass die zugeführte Frischluft bei ungünstigen Witterungsverhältnissen aufwendig aufbereitet werden muss. Es wird daher versucht, die Frischluftzufuhr im Tagesverlauf so zu steuern, dass zum richtigen Zeitpunkt möglichst wenig aufbereitet werden muss, um die Ziele zu erreichen (so viel wie nötig, so wenig wie möglich).

Tipp: Die Luftabsaugung ins Freie über Digestorien/Kapellen und Absaugarme in Konservierungswerkstätten, Labors und Dekontaminationsräumen ist ein zusätzlicher Aspekt. Jede Einheit hat eine Absaugleistung von 0 - ca. 600 m³ pro Stunde. Auch wenn bei mehreren Anlagen dieser Art nicht alle gleichzeitig und mit Volllast betrieben werden, besteht ein erhöhter Bedarf an Zuluft, die entsprechend aufbereitet werden muss. Dies ist bereits bei der Planung zu berücksichtigen.

5.2 Luftumwälzung

Die Luft in einem Raum wird bei der aktiven Beeinflussung aus verschiedenen Gründen mehr oder weniger stark umgewälzt:

A. Die relative Luftfeuchtigkeit in einem Raum kann

- aktiv erhöht werden, indem etwas feuchtere Luft als im Raum vorhanden ist zugeführt wird, oder
 - aktiv gesenkt werden, indem etwas trockenere Luft als im Raum vorhanden ist zugeführt wird.
- B. Luft ist grundsätzlich ein schlechtes Transportmedium für Wärme oder Kälte (Heizen/Kühlen), wird aber in Klimaanlage häufig genutzt. Dazu müssen jedoch erhebliche Luftmengen bewegt werden.

In heutigen Klimakonzepten für Depots wird neben einem sehr geringen Luftaustausch oft auch eine sehr geringe Luftumwälzung angestrebt. Dies hat jedoch zur Folge, dass die umgewälzte Luftmenge in der Regel *nicht* ausreicht, um eine Beheizung (und ggf. Kühlung) über die Luft zu realisieren, da Luft ein relativ schlechter Wärmeträger ist.

- C. Die Luft kann während der Umwälzung durch Filter geleitet werden, um Feinstaub (und damit auch partikelförmige Schadstoffe) und ggf. auch gasförmige Schadstoffe herauszufiltern.
- D. Der umgewälzten Luft (Umluft) kann ein Anteil Frischluft (0 - 100 %) beige-mischt werden. Dazu muss die Frischluft in der Regel so aufbereitet werden, dass sie den Anforderungen an Temperatur und relativer Feuchte entspricht. Dies kann technisch und energetisch sehr aufwändig sein.

Siehe Abschnitt 5.1 Luftaustausch S. 26

5.3 Staubproblematik

Je weniger Luft bewegt wird, desto weniger Staub wird aufgewirbelt. Andererseits kann durch eine höhere Luftumwälzung mehr Luft durch die Filter geleitet werden, um Staub abzuscheiden. Dabei wird jedoch Energie verbraucht, um die Luft umzuwälzen bzw. den Widerstand der Filter zu überwinden. Außerdem müssen die Filter regelmäßig gereinigt oder ausgetauscht werden.

Durch eine geschickte Gestaltung des Depots kann die Staubbentwicklung auf ein Minimum reduziert werden. Dies wird durch eine dichte Fassade, dichte Türen, gute Raumanordnung, gute Materialwahl und reinigungsfreundliche Anordnung der Lagertechnik erreicht (auch unter und hinter der Lagertechnik ist genügend Platz vorhanden, um den Boden reinigen zu können). Vor allem aber durch die regelmäßige Reinigung des Depots und nicht zuletzt durch die sporadische Reinigung der Sammlungsobjekte, der Gebinde und der Lagertechnik. Dadurch kann die Staubbbelastung in der Luft reduziert werden, wodurch sich gegebenenfalls der Aufwand für Filterwechsel und/oder Luftaufbereitung verringert.

Sauberkeit im Depot ist das A und O in einem Depot!

5.4 Filterung

Feinstaub und gasförmige Luftschadstoffe sind sowohl in städtischen als auch in ländlichen Gebieten ein Thema. Dabei hat sich die Zusammensetzung im Laufe der Jahre deutlich verändert und ist in den vergangenen Jahrzehnten bei

den meisten Schadstoffgruppen deutlich zurückgegangen (außer bei Ammoniak).

Während Feinstäube (z.B. Pollen, Reifenabrieb, Ruß, Biozide etc.) zu einer zunehmenden Verschmutzung und ggf. Veränderung von Objektoberflächen führen, tragen gasförmige Schadstoffe zur Alterung von Materialien bei.

Verschmutzungen wie Rußpartikel und Gummiabrieb von Fahrzeugreifen lassen sich in vielen Fällen nachträglich nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand entfernen. Daher ist es sinnvoll, Lüftungs- und Klimaanlage mit entsprechend wirksamen Filtern auszurüsten.

Tipp: Bei Depots in oder angrenzend an Tiefgaragen ist darauf zu achten, dass die Türen zwischen Depot- und Parkierungsbereichen rauchdicht ausgeführt sind. So wird das Eindringen von Rußpartikeln (Motoren, Brand) wirksam verhindert.

Filter bietet auch einen wirksamen Schutz gegen den Eintrag von Schadinsekten über die Belüftung/Klimatisierung von Depots. In diesem Sinne ist jedes Insektengitter vor einem Fenster oder einem Lüftungseinlass auch ein Filter, der das Eindringen von Insekten verhindert.

Biozide, Schimmelsporen

Schwerflüchtige Biozide aus früheren Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen an organischen Objekten sind ebenso wie Schimmelpilzsporen häufig Bestandteil von Stäuben, die bei der Handhabung und Bewegung von Objekten aufgewirbelt werden. Eine regelmäßige Reinigung der Depots ist die einfachste Möglichkeit, diese Belastung zu reduzieren. Dies ist eine Grundaufgabe der Sammlungspflege. Stäube können auch in Lüftungs-, Klima- und Umluftanlagen mit geeigneten, aber kostspieligen Hochleistungsschwebstofffilter (ULPA) abgeschieden werden.

Tipp: Mit sogenannten Unterdruckhaltegeräten und deren ULPA-Filtern lassen sich Partikel in der Luft herausfiltern und bereits temporär die Arbeitssituation (z.B. in einem Reinigungsprojekt) massiv verbessern.

Gasförmige Schadstoffe

Gasförmige Luftschadstoffe aus der Umgebung, aus den Objekten selbst oder von Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen mit Substanzen wie Quecksilber(II)-Chlorid (Sublimat) können durch eine Gasfilterung reduziert werden. Diese Filterstufe ist jedoch aufwendig und (je nach abzuschheidender Substanz) sehr teuer. Betroffen sind häufig sehr spezifische Objektgruppen wie beispielsweise quecksilberhaltige Spiegel, Herbarien, frühe anatomische Präparate aber auch historische Bücher.

Tipp: In Lüftungs- und Klimaanlage kann es sinnvoll sein, den Platz für den nachträglichen Einbau einer Filterstufe für gasförmige Luftschadstoffe vorzuhalten.

- Tipp:** Gewisse Materialgruppen wie vulkanisierter **Gummi**, **Polyvinylchlorid**, **Celluloseacetat**, **Cellulosenitrat** zersetzen sich relativ rasch und geben dabei Salzsäure, Essigsäure, Salpetersäure bzw. Schwefelsäure ab, welche weitere Objekte schädigen können. Derartige Objekte sollten separat aufbewahrt werden in gut belüfteten Räumen, ggf. auch gasdicht verpackt. Ein starker Essiggeruch bei Filmen und Fotonegativen lässt auf ein bereits fortgeschrittenes «Essig-syndrom» schliessen. Diese Objekte müssen umgehend separiert und durch Fachpersonal gesichert werden.
- Tipp:** Die Sinnhaftigkeit und der **Verbleib schadstoffbelasteter Objekte** in der Sammlung sind durch Schadstoffexperten zu beurteilen. Gegebenenfalls sind die Objekte auszusondern und unter angemessenen Vorkehrungen separat aufzubewahren und vorschriftsgemäss zu kennzeichnen und zu handhaben.
Stark kontaminierte, sammelungs- oder personengefährdende Objekte sind gegebenenfalls nach einem ordentlichen Entsammlungsverfahren zu entsorgen. Diese einschneidende Entscheidung liegt immer beim Museum.
- Tipp:** **Asbest** nimmt unter den Schadstoffen eine Sonderstellung ein. Beim Zerreiben, Bohren, Schaben etc. entstehen feinste Mineralfasern, welche sich über lange Zeit in der Luft halten können und lungengängig sind. Asbest wurde häufig in technischen Geräten wie Öfen, alten Radios, Fernsehern und Maschinen als hitzebeständiges Material eingebaut, fand aber auch als Baumaterial, Malgrund oder Möbel Verwendung. Wenn die entsprechenden Teile nicht bearbeitet, gehandhabt oder berührt werden, geht von ihnen kaum eine Gefahr aus. Als Vorsichtsmaßnahme sind solche Gegenstände jedoch dicht zu verpacken und mit einem Warnhinweis zu kennzeichnen.
- Tipp:** In gewissen Gebieten (z. B. Gesteinsformationen in den Alpen im Harz und im Jura) ist mit einer Belastung durch **Radongas** aus dem Untergrund zu rechnen. Radon kann durch Gebäudeundichtigkeiten eindringen, sich in unterirdischen Räumen ansammeln und stellt eine Gesundheitsgefährdung dar.

6 Bauliche Aspekte

Da die Aufbewahrung von Kulturgut langfristig angelegt ist und sich über deutlich längere Zeiträume erstreckt als die Erneuerungszyklen der technischen Anlagen und die Planbarkeit von Ressourcen, ist es sinnvoll, Depots so auszulegen, dass sie möglichst *nicht auf aktive technische Unterstützung* wie z.B. Pumpen oder dauernde Entfeuchtung angewiesen sind.

Jede passive Lösung ist einer aktiven mechanisch-technischen Lösung vorzuziehen.

Dies beginnt bei der Auswahl des Standorts, setzt sich im Gebäudelayout fort und umfasst explizit auch bautechnische Fragen wie Gebäudedichtigkeit, manuelle Lüftungsmöglichkeiten, verwendete Materialien und deren Lebensdauer.

6.1 Lage des Gebäudes oder des Raumes

Die Lage eines Gebäudes oder eines Raumes ist mitentscheidend für die zu erwartenden Gefährdungen durch Naturgefahren und deren Folgen auf das Innenraumklima (hohe Luftfeuchte). Die Gefährdung durch Starkregen, Hochwasser oder Schnee ist heute durch die Gefahrenkarten relativ gut dokumentiert, wird aber oft noch unterschätzt.

Neben Oberflächenwasser, das in Gebäude eindringt, stellt auch Grundwasser eine mögliche Gefährdung dar. Der Grundwasserspiegel kann ansteigen und zu Wassereintritt in das Gebäude führen. Bauen *im* Grundwasser ist heute zwar bautechnisch möglich, aber langfristig eine *schlechte Option für Depots und Archive*. Durch Bauarbeiten, Erdbewegungen und Erdbeben oder nicht mehr funktionstüchtige Entwässerungssysteme (z. B. defekte Sickerleitungen) können sich unterirdische Wasserströme einstellen oder verschieben. Dadurch kann sich Wasser an und unter Gebäuden stauen. Wasser kann durch undichte Fugen oder Risse in der Bodenplatte und in den Wänden ins Gebäude eindringen. In der Vergangenheit wurden verschiedenste Methoden zur Abdichtung von erdberührten Bauteilen angewandt (z. B. Teer, Bitumen, Kunststoffe), welche sich mehr oder weniger bewährt haben. Teilweise sind sie schlecht gealtert und erfüllen dadurch heute ihre Funktion nicht mehr.

Gefährdungen durch benachbarte Gewerbe- oder Industriebetriebe und ggf. Verkehrsachsen sind aufgrund der heutigen Regelungen eher selten, aber dennoch abzuklären (z. B. partikelförmige und gasförmige Schadstoffe aus Industrie, Gewerbe und Verkehr, Explosionsgefahr, Vibrationen).

6.2 Vorräume

Um das Eindringen unkonditionierter Außenluft zu vermeiden, ist es zweckmäßig, Depoträume möglichst *nicht* direkt von außen zu betreten. Ein Vorraum oder Flur kann hier bereits hilfreich sein.

Bei Neubauten ist es sinnvoll, ein Depotraum nach Möglichkeit durch mindestens drei aufeinander folgende Türen/Tore zu erschließen. Wenn einer der drei Durchgänge geöffnet ist, sind idealerweise die beiden anderen geschlossen. Dies kann

z. B. eine Abfolge von LKW-Box, Bereitstellung/Korridor und Depotraum sein. Das Fassadentor ist nur geöffnet, wenn das Tor zwischen LKW-Box und Bereitstellung geschlossen ist. Diese Vorgehensweise ist auch sicherheitstechnisch sinnvoll.

Durch geschickte Anordnung der Depoträume bzw. der Lagertechnik in den Depoträumen kann mit geringem Platzverlust ein kleiner Vorraum (Schleuse) geschaffen werden, der verhindert, dass sich zu viel konditionierte Luft aus dem Depot mit der Luft im Flurbereich vermischt.

6.3 Wasserdichtigkeit der Gebäudehülle

Das Raumklima in einzelnen Räumen wird maßgeblich von der Lage, der Bauweise und der Qualität eines Bauwerks beeinflusst. In früheren Zeiten wurden erdberührte Räume in unseren Breitengraden *nie* als trockene Räume betrachtet. Nur für die Lagerung bestimmter Lebensmittel war eine höhere Luftfeuchtigkeit sogar erwünscht, und die Räume wurden oft - wenn auch jahreszeitlich unterschiedlich - stark gelüftet. Erst mit der Beheizung von erdberührten Räumen, der Verbesserung der Bauweise und der Raumknappheit wurden solche Räume auch als Depots genutzt. Zudem wurde der Luftaustausch durch luftdichtere Bauweise reduziert. Dies führte teilweise zu feuchten, muffigen oder gar schimmeligen Räumen, da die Feuchtigkeit durch Boden und Wände drang, aber nicht abgeführt wurde.

Heutige Bauweisen ermöglichen nebst der Abdichtung mit polymermodifizierten Bitumenanstrichen (schwarze Wanne) die Herstellung von wasserundurchlässigem Beton (WU-Wanne, weisse Wanne), dichten Anschlüssen und Fugen und minimieren damit das Eindringen von Feuchtigkeit. In neuerer Zeit wird dies durch sogenannte *Frischbetonverbundfolien* (K-Wanne, gelbe Wanne) ergänzt, die eine weitere, sehr sinnvolle Feuchtigkeitssperre im Boden- und Wandbereich zwischen erdberührtem Außen- und Innenraum bilden.

An der Außenseite der erdberührten Wände ist ein funktionsfähiges Entwässerungs- und Belüftungssystem zu installieren. Eine spülbare Grundleitung leitet Hang- und Oberflächenwasser ab. Eine Drainagematte oder Drainageplatte wird zwischen Wand und Erdreich gesetzt und der Vorbereich mit luftdurchlässigem Material (Grien, Kies) verfüllt. Dadurch wird Oberflächen- und Hangwasser von der Außenwand ferngehalten und Feuchtigkeit kann abgeführt werden.

Jeder Raum, der *nicht* von Natur aus trocken ist, muss durch gezieltes Lüften oder mit technischen Hilfsmitteln entfeuchtet werden. Die Durchführung der Maßnahmen oder die Anlagen können ausfallen und stellen somit ein Risiko für die Aufrechterhaltung des Raumklimas dar. Zu dieser Raumkategorie gehören unterirdische Räume wie Tiefparterre, Keller und Bunker sowie oberirdische, träge Gebäude mit nicht luftdichter Gebäudehülle, die sich im Frühjahr im Innern nur langsam erwärmen. Die einsickernde feuchtwarme Außenluft führt im (noch) kühlen Innenraum zu einem Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit.

Ein weiterer Schwachpunkt bezüglich der Wasserdichtigkeit ist das Dach. Die Dachhaut muss absolut dicht sein. Bei Flachdächern muss die Ableitung des

Wassers durch entsprechendes Gefälle und sinnvoll angeordnete Fallrohre sichergestellt sein. Dachrinnen und Fallrohre sind mindestens halbjährlich (nach dem Laubfall und im Frühjahr) auf Dichtigkeit, Sauberkeit und Durchgängigkeit zu kontrollieren.

6.4 Austrocknungszeit bei Neu- und Umbauten

Viele der heute verwendeten Bautechniken verwenden Zement, Beton und wasserbasierte Farben, für deren Herstellung und Verarbeitung mehr oder weniger Wasser benötigt wird. Dieses Wasser wird während des Trocknungsprozesses wieder freigesetzt. Die Trocknungsdauer²⁷ kann von einigen Tagen bei einem Anstrich bis zu mehreren Jahren bei gegossenen Betonteilen reichen.

Ein gutes Trocknungskonzept auf der Baustelle spielt eine entscheidende Rolle. Je früher eine Baustelle regendicht ist und je besser die Feuchtigkeit durch geschicktes Lüften und ggf. aktive Bautrocknung (z.B. mit mobilen Entfeuchtern) abgeführt werden kann, desto besser.

Bei der Inbetriebnahme des Gebäudes und der Ausstattung ist sicherzustellen, dass die angestrebte Klimabandbreite dauerhaft erreicht werden kann.

Tipp: Der Fortschritt der Entfeuchtung kann mit einem sogenannten *Klimadrifttest* überprüft werden. Dabei wird ein Depotraum mit Luftentfeuchtern auf 50% rF entfeuchtet, dann werden alle Geräte abgeschaltet und bei geschlossenem Raum und ohne Luftaustausch über 72 Stunden der Klimaverlauf aufgezeichnet (niemand betritt den Raum). Steigt die Luftfeuchtigkeit in dieser Zeit nicht über 60 %, so ist das Gebäude ausreichend getrocknet und kann bezogen werden. Die Zeitspanne von 72 Stunden ist die Zeitspanne, die bei einem Totalausfall der Technik zur Verfügung stünde, um entsprechende Notmaßnahmen zur Raumluftentfeuchtung zu ergreifen.

Tipp: Fahrregalanlagen, die direkt auf einer erdberührten Bodenplatte stehen, sind nicht zu früh zu montieren und die Wagenabdeckung (erster Fachboden) noch nicht aufzusetzen, damit sich im Wagenkasten kein Mikroklima bilden kann durch Feuchtigkeit aus Beton bzw. Estrich.

Auch in den ersten Betriebsjahren wird aus Räumen mit hohem Betonanteil noch Feuchtigkeit verdunsten, welche abgeführt werden muss, ggf. mit zusätzlichen mobilen Entfeuchtern.

Bei Kulturgüterdepots ist unter optimalen Bedingungen (der Bau ist frühzeitig regendicht, systematische Bautrocknung, dichte Gebäudehülle) mit einer Austrocknungszeit von mindestens 1-2 Jahren zu rechnen.

²⁷ Die Austrocknungszeit ist nicht zu verwechseln mit dem Erreichen der für Bauwerke erforderlichen Mindestdruckfestigkeit von Beton nach ca. 28 Tagen.

6.5 Dämmung, Wärmebrücken (Kältebrücken)

In einem fein austarierten, auf die lokalen klimatischen Verhältnisse abgestimmten Klimakonzept kann die Dicke der Dämmung sehr gezielt eingesetzt werden, um ganzjährig eine optimale, d.h. energieeffiziente Situation zu erreichen. Viel Dämmung ist nicht immer vorteilhaft. Die eingesetzte Dämmung, beispielsweise bei einer Bodenplatte, bestimmt, inwiefern das oberflächennahe Erdreich im Sommer zur Kühlung und im Winter zu einer leichten Temperierung der Bodenplatte beitragen kann.

Tipp: Bei *nicht* unterkellerten Gebäuden sind Bodenplatten auch rundum seitlich zu dämmen, um ein unterfrieren der Bodenplatte bzw. ein übermäßiges Auskühlen der kritischen Zone im Fußbereich von Außenmauern zu vermeiden.

Eine Schwachstelle in Gebäuden sind Wärmebrücken, die in Kombination mit der vorhandenen Raumluftfeuchte zu Kondensat und an bestimmten Stellen zu einem nicht tolerierbaren Mikroklima führen können. Die Entkopplung der Bauteile und die richtige Dämmung sind hier die entscheidenden Faktoren. Besonderes Augenmerk ist auf den Übergang zwischen erdberührten und aufgehenden Bauteilen sowie im Bereich von Ecken, Schwellen, Vorsprüngen, Fenster- und Türanschlüssen sowie Rollladenkästen zu richten.

6.6 Winddichtigkeit der Gebäudehülle

Die Winddurchlässigkeit der Gebäudehülle ist in der Regel der größte Störfaktor, der das Raumklima beeinflusst. Sehr trockene Luft kann eindringen und das Raumklima v.a. im Winter unerwünscht austrocknen. Feuchte Warmluft kann im Frühjahr oder Sommer auf kühlere Innenflächen treffen und dort im ungünstigsten Fall kondensieren und ein Mikroklima an der Wand bilden, das Schimmelpilzwachstum begünstigt.

Bei Neubauten wird in der Regel eine sehr dichte Gebäudehülle angestrebt mit einer Luftaustauschrate von weniger als 0.1 pro Stunde. Bei bestehenden Gebäuden ist jedoch sehr sorgfältig abzuwägen, inwieweit eine zusätzliche Abdichtung z. B. der Fenster das empfindliche bauphysikalische Gleichgewicht des Gebäudes nicht stört.

Tipp: In Bestandsbauten gibt es oft Mauerdurchbrüche zwischen Räumen, durch die Leitungen aller Art verlegt sind oder die nicht mehr in Gebrauch sind. Diese Öffnungen sind in der Regel zu verschließen, es sei denn, sie erfüllen eine climatechnische Funktion. Nicht jede Öffnung oder jeder Schacht ist funktionslos. Sie können Teil eines sinnvollen Gesamtsystems sein, das gegebenenfalls nur in Ausnahmesituationen zum Tragen kommt (z.B. Starkregen). Oftmals ging die Kenntnis dieser Funktion im Verlaufe der Zeit verloren.

6.7 Fassadenaufbau

Die Fassade ist das zentrale Element für ein stabiles Raumklima. Im Hochsommer soll möglichst viel Wärme abgehalten werden, im Winter soll die Wärme möglichst lange im Gebäudeinneren bleiben. Dies wird einerseits durch eine äussere Fassadenschicht erreicht, welche die durch Sonneneinstrahlung eingebrachte Wärme abführt, bevor sie durch den Wandaufbau in das Gebäudeinnere gelangt (z. B. durch eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade). Andererseits verhindert eine träge Wandkonstruktion einen zu schnellen Wärmedurchgang (Aufheizung im Sommer, Auskühlung im Winter).

Es ist eine ausgewogene Fassadenkonstruktion inklusive geeignete Dämmstärke anzustreben, um über den gesamten Jahreszyklus optimiert zu sein.

Idealerweise verfügt ein Depot über keine Fassadenöffnungen (Transparente Elemente, Fenster), da Tageslicht unerwünscht ist. Eine natürliche Beleuchtung ist aber in Arbeits- und Aufenthaltsräumen Pflicht und z.B. in Korridoren im Sinne einer angenehmen Arbeitsplatzgestaltung erwünscht.

Tipp: Für den Fall eines Ausfalls mechanischer Lüftungs- und Klimatisierungssysteme sollte jeder Depotraum auch manuell gelüftet werden können. Dazu sind von Hand bedienbare, dichte Fassadenöffnungen mit Insektenschutzgittern erforderlich, die so angeordnet sind, dass eine gute Durchströmung der Räume erzielt wird (Querlüftung).

Diese Fassadenöffnungen können auch genutzt werden, um ein Minimum an natürlichem Licht z. B. in die Haupteintrittsgänge innerhalb der Depots zu bringen, ohne die Sammlungsobjekte dabei zu beeinträchtigen.

Die Begrünung von Fassaden ist umstritten, gewinnt aber als natürlicher Wärmeschutzschild im Sommer zunehmend an Bedeutung. Es ist darauf zu achten, dass sämtliche Fassadenöffnungen mit Insektengittern versehen sind. Rund um Luftein- und Luftauslässe ist ein Bereich von Begrünung freizuhalten.

6.8 Rauch- und Wärmeabzugklappen (RWA)

Je nach Lage und Größe eines Depotraumes²⁸ sind bei Neu- und Umbauten Abzugsöffnungen für Rauchgase bzw. Nachströmöffnungen für Frischluft in der Fassade oder über Dach erforderlich. Diese Öffnungen in Form von Klappen oder leistungsstarken Ventilatoren stellen eine Schwachstelle in der Gebäudehülle in Bezug auf die Dämmung, vor allem aber in Bezug auf die Dichtigkeit dar. Diesen beiden Aspekten ist bei der Planung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Reine Lamellenklappen sind nicht dicht genug!

Die Systeme müssen zudem regelmäßig überprüft werden. Die Rauch- und Wärmeabzugsklappen (RWA) müssen dazu geöffnet werden, wodurch eine direkte

²⁸ Die Vorschriften, ab welcher Raumgröße derartige Abzüge erforderlich sind, unterscheiden sich von Region zu Region stark. Rauch und Wärmeabzugsklappen sollten jedoch *nicht* in vorausseilendem Gehorsam bei kleinen Depots eingesetzt werden. Aufwand und Nutzen stehen nicht in einem sinnvollen Verhältnis.

Verbindung nach außen entsteht (und damit ein potenzielles Risiko für größere Klimaschwankungen, und Insekteneintrag). Eine Überprüfung sollte daher zu einer günstigen Jahreszeit erfolgen, wobei die umlaufenden Dichtungen der Klappen *vorher* zu reinigen sind.

Bei mechanischen Systemen saugen oder drücken mächtige Ventilatoren während des Prüfbetriebs Luft mit hoher Geschwindigkeit in die Räume, es sei denn, die Ventilatoren sind mit einem Prüfbypass versehen, damit der Luftstrom *nicht* durch die Depoträume geleitet wird.

6.9 Klimapuffernde Materialien

Jede Zufuhr von Luft, die sich in ihrem Zustand von der in einem Raum vorhandenen Luft unterscheidet, führt zu einer Veränderung des Raumklimas. Manchmal ist dies gewollt, um zu be- oder entfeuchten, manchmal sind es Störfaktoren, die sich negativ auswirken. Der Ausgleich kann durch aktives Eingreifen erfolgen (z. B. Klimaanlage, Entfeuchter, Befeuchter, Fenster öffnen). Die Wahl der Baustoffe kann jedoch auch dazu beitragen, diese Schwankungen passiv zu puffern.

Eine schwere Bauweise, z. B. mit Ziegeln oder Beton, bietet die Möglichkeit, Wärme im Gebäude zu speichern und zeitverzögert wieder an den Raum abzugeben.

Viele Materialien sind von Natur aus in geringem Maße feuchtepuffernd, wenn die Oberfläche nicht versiegelt ist. Für Anstriche sind daher diffusionsoffene Farben zu verwenden.

Einige mineralische Putze wie Lehm- oder Kalkputze besitzen ein gutes Feuchtespeichervermögen und können Feuchtigkeit kurzfristig aufnehmen und zeitverzögert wieder abgeben. Sie tragen damit zur Feuchtepufferung im Raum bei. Voraussetzung ist eine fachgerechte Verarbeitung im Zusammenwirken mit anderen Bauteilen oder Baustoffen. Erfahrungsgemäß ist der Beitrag zur Stabilisierung des Klimas eher bescheiden und nimmt mit zunehmender Raumgröße ab, da sich das Verhältnis von klimarelevanter Oberfläche zu Raumvolumen verschlechtert.

In Archiven und Bibliotheken trägt auch der Papieranteil im Objektbestand selbst zur Klimapufferung im Raum bei. In einem größeren Depotraum können mehrere Tonnen Wasser in Papier gespeichert sein. Im Museumsbereich ist der Effekt jedoch aufgrund der Beschaffenheit der Objekte, ihrer Oberflächenbehandlung und der effektiven Menge an Puffermaterial eher gering.

6.10 Über- / Unterdruck in Depoträumlichkeiten

Gelegentlich wird propagiert, in Depots einen leichten Überdruck zu erzeugen, um eine bessere Luftverteilung im Raum zu erreichen bzw. Staub, Schadstoffe und ggf. Insekten aus den Depoträumen fernzuhalten. Dies ist jedoch nur bei sauberen, nicht kontaminierten Depots und Sammlungsbeständen sinnvoll.

Sind Objektbestände z. B. mit Bioziden kontaminiert, ist die Situation umgekehrt, da ein Interesse daran besteht, dass vorhandene Schadstoffe nicht aus dem Depot heraus und z. B. in Verkehrswege, Büros und Arbeitsräume gelangen.

6.11 Wasser als Wärme-/Kältetransportmedium im Depot

Luft ist im Gegensatz zu Wasser ein schlechter Wärmeträger. Bei den heute sehr niedrig konzipierten Luftumwälzungsraten in Depots ist der Volumenstrom meistens zu gering, um die benötigte Wärme/Kälte zu transportieren. Die Temperatur kann daher *nicht* über die Luft geregelt werden. Bei Bedarf muss die Temperatur durch die Aktivierung der Baumasse (Baukernaktivierung, Bauteiltemperierung, Wandtemperierung) oder durch Heizkörper geregelt werden. Als Transportmedium wird dabei Wasser verwendet.

Siehe auch nächsten Abschnitt zu Bedenken bei wasserführenden Installationen.

6.12 Installationen (Wasser, Abwasser, Heizung, Luft)

Installationen wie Wasser-, Heizungs- und Abwasserleitungen, Hebeanlagen für Toilettenanlagen, Lüftungskanäle usw. stellen bei ordnungsgemäßigem Zustand keine unmittelbare Gefahr für die raumklimatischen Verhältnisse dar, können aber im Havariefall ein Risiko darstellen.

Die Bedenken gegen den Einsatz von Wasser in Depots sind zwar grundsätzlich berechtigt, können aber durch geeignete Maßnahmen (Führung nicht offen *über* oder *in der Nähe* von Objekten, Führung in Wand- und Bodennähe, Einhausung, abgehängt Auffangwannen sowie technische Maßnahmen wie z. B. Aufteilung der Heizkreise und Überwachung mit sogenannte Druckwächtern und Wassersensoren) weitgehend ausgeräumt werden.

Für die aktive Klimatisierung wird zum Teil aufwendige Technik mit einer Vielzahl von wasserführenden Leitungen eingesetzt. Die Technikräume sind daher so zu konzipieren, dass im Schadensfall eine geordnete Ableitung des Wassers aus dem Technikraum erfolgen kann. Darüber hinaus wird heute oft auch Kälte benötigt. Die dafür notwendigen Leitungen müssen ausreichend gedämmt sein, um Schwitzwasser zu vermeiden.

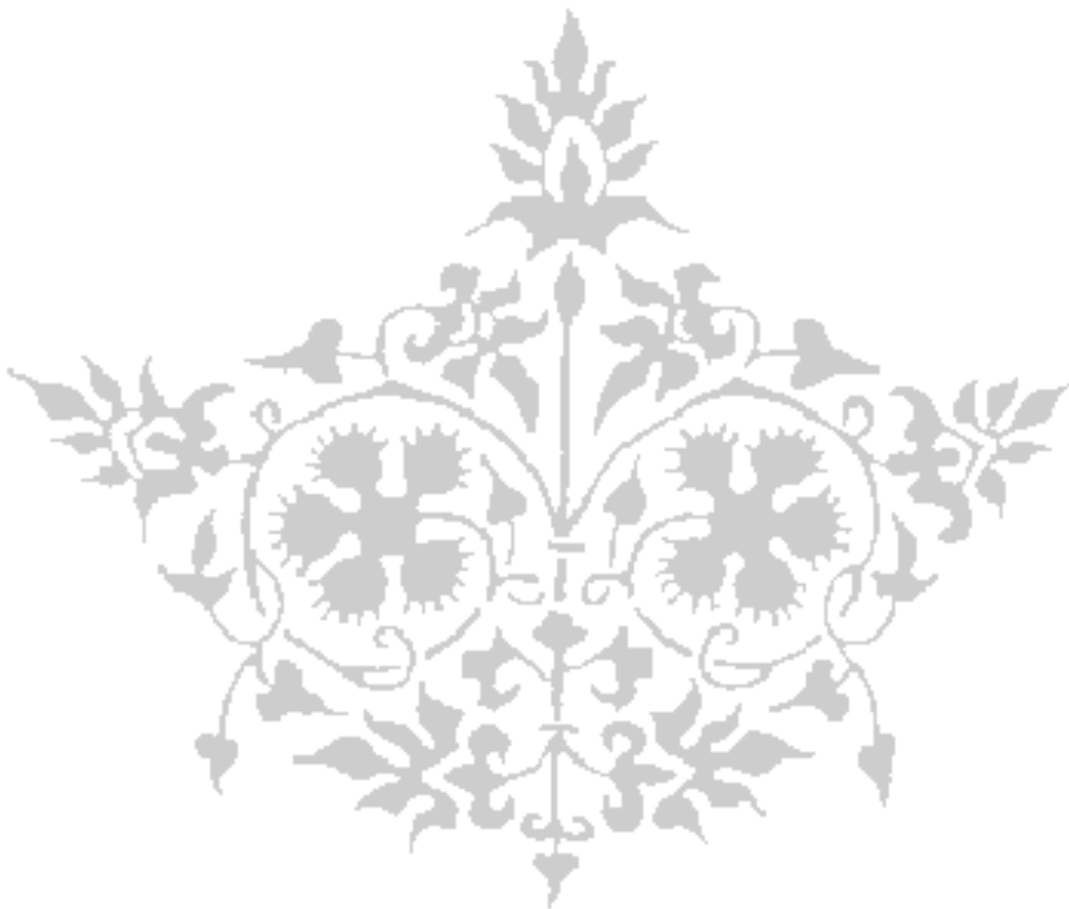
Tipp: Klassische Schwachstellen sind Zu- und Ablaufschläuche an stationären oder mobilen Be- und Entfeuchtern, die sich bei unzureichender Befestigung der Schlauchschellen lösen können. Die Schläuche und Verbindungen sind regelmäßig zu prüfen.

Tipp: Grundsätzlich werden Sammlungsobjekte mit einem gewissen Abstand vom Boden gelagert (z.B. auf Palette, erster Fachboden ca. 15cm ab Boden). *Keine* Lagerung direkt auf dem Boden!

6.13 Trockenschacht

Bei Hochwasser sammelt sich das Wasser am tiefsten Punkt eines Gebäudes, wenn es nicht abfließen kann. Dies führt im Ereignisfall zu einer Wasserschicht von einigen Zentimetern, die mit Wassersaugern nur schwer zu entfernen ist und zu hoher Luftfeuchtigkeit im Raum führt. Wird bei Neubauten im untersten Geschoss in jedem Raum ein Trockenschacht (ca. 50 x 50 x 50 cm, *ohne* Ablauf) vorgesehen, kann das Wasser im Bedarfsfall mit einer mobilen Tauchpumpe aus diesem Schacht abgesaugt werden. Nur ein kleiner Rest muss dann noch mit Wassersaugern von der Fläche abgesaugt werden.

- Tipp: Bei bestehenden Gebäuden darf die Bodenplatte keinesfalls nachträglich durchstoßen werden, da dies zu Abdichtungsproblemen führen kann.
- Tipp: Die Feuerwehr sieht es nicht gern, wenn die Aufzugsunterfahrt (oft tiefster Punkt im Gebäude) als Ort zum Abpumpen von Wasser genutzt wird, da das Wasser durch herkömmliche, biologisch *nicht* abbaubare Hydrauliköle der Aufzugsanlage verunreinigt sein könnte.



7 Betriebliche Aspekte

7.1 Offene Türen, Tore und Fenster

Der Mensch ist oft der limitierende Faktor bei dem Bemühen, ein konstantes Klima im Depot aufrechtzuerhalten. Wer hat nicht schon einmal aus Bequemlichkeit die Türen offengelassen? Grundsätzlich sollte das Depot geschlossen sein und Depots sind keine Aufenthaltsräume für größere Menschenansammlungen. Nur bei optimalen äußeren Bedingungen ist an eine kurzzeitige manuelle Belüftung über Fenster und Türen zu denken. Dies setzt jedoch eine genaue Kenntnis voraus, wann die Außenbedingungen dies zulassen. Außerdem ist darauf zu achten, dass bei Fenstern das Eindringen von Insekten durch dicht schließende Insektenschutzgitter verhindert wird.

Siehe Abschnitt 4.6 Historische Schwankungen (Proofed Fluctuation)

Tipp: Bei der Nutzung bestehender Räume als Depot kann es erforderlich sein, die Luftfeuchtigkeit zu regulieren (Entfeuchten, Befeuchten). Mehrere kleine Räume bilden dann oft ein Gesamtvolumen, das beispielsweise von einem Punkt aus konditioniert wird. In solchen Fällen muss genau festgelegt und gut sichtbar beschriftet werden, welche Türen offen oder geschlossen bleiben müssen, um den gewünschten Effekt zu erzielen. Mitarbeiter müssen zudem regelmäßig wieder auf den Sinn dieser Praxis aufmerksam gemacht werden.

7.2 Verpackung als Klimapuffer und Schadstoffabsiegelung

Klimapuffer

Jede Verpackung – sei es eine Schachtel, Hülle, Mappe, ein Schrank, eine Schublade oder eine Vitrine – bildet eine Barriere zwischen der unmittelbaren Umgebung des Objekts und der Außenwelt, beispielsweise dem Depot, der Ausstellung oder dem LKW-Laderaum. Sie schützt das Objekt vor äußeren Einflüssen, trennt gegebenenfalls zwei unterschiedliche Klimata voneinander und verlangsamt deren Angleichung.

Auf diese Weise können kurzfristige Klimaschwankungen am oder in der Nähe des Objekts geglättet werden. Dies ist insbesondere bei größeren Klimaunterschieden zwischen zwei Bereichen von Bedeutung, da z.B. beim Öffnen eines deutlich kühleren Raumes, einer Kühlzelle oder eines Kühlschranks die einströmende Luft meistens zu einem Anstieg der relativen Luftfeuchte im Innern führt.

Bei dicht verschlossenen Behältern, in Beutel eingeschweissten Objekten, Schränken oder Vitrinen kann mit Hilfe eines Puffers (z. B. Silicagel, ProSorb) auch über längere Zeiträume ein bestimmtes, vom Raum unabhängiges Klima aufrechterhalten werden.

Ein Nebeneffekt von Verpackungen ist zudem, dass weniger Luft an die Objekte gelangt und z. B. Silbergefäße weniger oxydieren. Schon das Einschlagen in ein

Seidenpapier hilft und die Verpackung in spezielle Tücher und Folien kann die Oxidation weiter verringern.

Verpacken kontaminierter Objekte

Sammlungsobjekte können in sehr unterschiedlichem Maße kontaminiert sein. Dabei kann es sich um Biozide, aber auch um objektimmanente Schadstoffe wie z.B. Asbest oder PCB in technischem Kulturgut handeln. Um eine Verschleppung von Schadstoffen zu vermeiden, sind die betroffenen Objekte dicht zu verpacken und mit einem entsprechenden Warnhinweis zu versehen. Dies ermöglicht einen sachgerechten Umgang im Alltag unter Berücksichtigung entsprechender Schutzmaßnahmen.

7.3 Reinigung

Räume

Obwohl die Reinigung kein Klimafaktor im eigentlichen Sinne ist, hat sie einen indirekten Einfluss auf die Luftqualität in einem Raum. Staub wird beim Begehen der Räume und bei der Handhabung der Objekte aufgewirbelt und kann ggf. auch mit Schadstoffen belastet sein.

Klimatechnisch können diese Stäube mit mehr oder weniger großem technischen und finanziellen Aufwand in Filtern abgeschieden werden. Sinnvoller erscheint es jedoch, das Übel an der Wurzel zu packen, indem regelmäßig (d.h. planmäßig) gereinigt wird. In Räumen ohne Klimatisierung ist dies - abgesehen von mobilen Filtergeräten - letztlich die einzige Möglichkeit, die Staubbelastung in der Luft zu reduzieren.

Die Verpackung, Einhausung oder Abdeckung von Objekten schützt diese zwar vor Staub, entbindet jedoch nicht davon, die Depots und damit die Sammlungen grundsätzlich sauber zu halten.

Tipp: Die Reinigung mit Besen führt oft zu starker Staubaufwirbelung. Besser ist das Saugen mit einem Staubsauger mit HEPA-Filter oder bei größeren Flächen mit einer Scheuersaugmaschine oder mit einem Reinigungsautomaten. Glatte Böden lassen sich auch mit einem sogenannten Wischbalken und entsprechenden Reinigungstüchern effizient und effektiv reinigen.

Lüftungskanäle

Wer schon einmal Lüftungskanäle gesehen hat, die nach ihrer Nutzungsdauer abgebaut wurden, weiß, wie schmutzig es im Inneren aussehen kann. Lüftungskanäle waren und sind oft nicht für eine Reinigung ausgelegt und in den seltensten Fällen wurde eine Reinigung durchgeführt.

Lüftungskanäle sind bereits bei der Planung so zu konzipieren, dass sie mit geeignetem Gerät gereinigt werden können. Es müssen Zugänge über den gesamten Kanalquerschnitt vorhanden sein, um Reinigungsarbeiten durchführen zu können (ggf. auch mit teilweiser Demontage der Kanäle, um geeignete Geräte

einsetzen zu können). Rechteckige Kanalquerschnitte sind schwieriger zu reinigen als runde Kanäle. Oft werden heute als letztes Segment der Kanalführung perforierte Textilschläuche verwendet, welche an die festen Kanäle angeschlossen sind. Sie dienen der gleichmässigen und zugfreien Luftverteilung im Raum und lassen sich zum Waschen abhängen.

Dichtigkeit

Die Dichtheit der Gebäudehülle spielt für das Raumklima eine entscheidende Rolle. Öffnungen wie Fenster, Türen und andere Durchdringungen müssen, sofern im Klimakonzept nicht anders vorgesehen, dicht sein. Dichtungen sind regelmäßig zu warten und bei Bedarf zu reinigen und zu erneuern. Installationsdurchbrüche sind sauber zu verschließen.

Tipp: Besonders bei erdberührten, tendenziell eher kühlen Räumen wie Keller oder Bunker spielt die (Un-)Dichtigkeit eine große Rolle bei der Infiltration von unconditionierter und ggf. mit Staub belasteter Luft. Oft werden z. B. bei Panzertüren in Bunkern aus Bequemlichkeit die Dichtungen entfernt, was fatale Folgen haben kann.

7.4 Messen, Kontrollieren

Wird das Raumklima aktiv beeinflusst, um bestimmte Grundbedingungen zu erreichen, besteht das Risiko, dass die Haustechnik ausfällt. Daher muss das Raumklima *in jedem Raum* überwacht werden durch regelmäßige Kontrollgänge und idealerweise durch ein Messsystem, das im Ereignisfall einen Alarm auslöst und an Personen weiterleitet. Bei einem Defekt der Haustechnik und erhöhter Luftfeuchtigkeit kann es unter ungünstigen Umständen innerhalb weniger Tage zu akutem Schimmelpilzbefall kommen. Auch passive Lösungen sollten sollten angemessen überwacht werden.

Messen

Der Mensch ist ein schlechter Sensor für die relative Luftfeuchte. Er fühlt sich in einem - in unserem Zusammenhang - großen Klimabereich zwischen 30 % rF und 70 % rF wohl und kann kaum genaue Aussagen über die aktuelle Situation machen. Besser ist heute die Messung mit elektronischen Temperatur- und Feuchteloggern, die:

- idealerweise die Werte auch anzeigen
- über eine *Alarmfunktion verfügen*, welche ein Über- oder Unterschreiten festgelegter Grenzen anzeigt
- die Messwerte über einen längeren Zeitpunkt aufzeichnen oder an einen zentralen Auswertungsort weitergeben können
- regelmäßig kontrolliert und ggf. neu kalibriert sind

Ältere analog-mechanische Hygrometer und Thermohygrographen sind weniger geeignet, da sie, weniger genau sind, langsamer ansprechen und die Daten nicht digital weiterverarbeitet werden können. Messelemente aus Echthaar müssen in

kürzeren Abständen regeneriert (kalibriert) werden, solche mit synthetischen Messelemente deutlich seltener. Die vorhandenen Geräte können bei richtiger Handhabung und Beobachtung nützliche Informationen liefern; man würde sie jedoch heute nicht mehr anschaffen.

Messorte

Grundsätzlich ist die Klimasituation am Ort des Geschehens, also in der Nähe der Objekte, von Interesse. Wichtig ist, dass die Messung nicht durch Störfaktoren wie Zugluft, kalte und/oder feuchte Außenwände, Sonneneinstrahlung verfälscht wird.

Bis man einen Depotraum kennt kann es sinnvoll sein an verschiedenen Stellen im Raum gleichzeitig zu messen, um die Gradienten (Temperatur- und relative Luftfeuchtigkeit-Unterscheide) in einem Raum kennenzulernen. Die Werte an den einzelnen Messpunkten sollten bei gleich kalibrierten Messgeräten lediglich um 1-2° C und bis zu 5% rF auseinanderliegen²⁹. Zuweilen kann es sinnvoll sein, an neuralgischen Punkten wie im Fußbereich einer Außenwand oder in der Nähe einer Fensterleibung zu messen, um mögliche Mikroklimata aufzuspüren.

Messdauer und Messintervalle

Es kann sinnvoll sein nur kurzzeitig oder punktuell zu messen, um einen aktuellen Sachverhalt zu dokumentieren. Aussagekräftiger über das Klimaverhalten eines Raumes sind jedoch Langzeitmessungen, welche einen ganzen Jahresverlauf abdecken, zumindest aber die kritischen Übergangszeiten im Frühjahr oder Herbst.

Üblicherweise reicht bei elektronischen Messgeräten ein Messintervall von 15 Minuten. Um die Funktionsweise einer Anlage oder bestimmte Ereignisse zu verfolgen kann es jedoch sinnvoll sein, das Intervall auf 2 bis 5 Minuten zu verkürzen. Bereits die manuelle Aufzeichnung abgelesener Werte in einer Liste kann hilfreich sein und Tendenzen erkennen lassen.

Auswerten

Mit der Messung allein ist es nicht getan. Die Messwerte müssen regelmäßig aufbereitet, ausgewertet und mit Fachkenntnis interpretiert werden. Gegebenenfalls müssen rechtzeitig die notwendigen Maßnahmen ergriffen werden, um Wirkung zu zeigen. *Alarmer haben nur einen Sinn, wenn sie zur Kenntnis genommen werden und zeitnah zu einer Reaktion führen.* Wenn Auffälligkeiten zu spät erkannt werden, können in der Zwischenzeit unter Umständen bereits Schäden oder Verluste aufgetreten sein.

Tipp: Die Auswertung von Messungen ist nur sinnvoll, wenn auch besondere Vorkommnisse bekannt sind. Während einer Messkampagne

²⁹ Es ist zu beachten, dass die heutigen Standard-Messgeräte relativ genau Schwankungen aufzeichnen, dass die absolute Genauigkeit jedoch bei +/- 2-3% liegt. Die jährliche Drift (Abweichung der Messung/Anzeige von der tatsächlichen Realität) beträgt meist weniger als 1%.

sind daher Zusatzinformationen zu erheben. Wer hat den Raum betreten und für wie lange (Zutrittsprotokoll)? Außerdem sind folgende Informationen in einem Klimalogbuch zu erfassen: wie sind die Anlagen gesteuert, wann wurden Änderungen von Einstellungen vorgenommen oder Servicearbeiten ausgeführt. Besondere Vorkommnisse wie offene Türen/Fenster, Starkregen, sehr trockene Witterung, (feuchte) Reinigungsarbeiten oder der Ausfall von Geräten sind ebenfalls zu dokumentieren.

Tipp: In den meisten Ländern besteht ein dichtes Netz meteorologischer Messstationen, die Temperatur, relative Feuchte und Niederschlag aufzeichnen. Die nächstgelegene Messstation gibt oft wertvolle Hinweise bei der Interpretation der eigenen Messwerte.

Tipp: Achten Sie darauf, dass die grafischen Darstellungen stets die gleichen Skalen für Temperatur (T) respektive relative Luftfeuchtigkeit (rF) verwenden, damit einzelne Darstellungen einfacher miteinander vergleichbar sind.

Kontrolle durch Personen

Die Tatsache, dass Temperatur und relative Luftfeuchte gemessen werden, darf *nicht* dazu führen, dass die regelmäßige Kontrolle der Räume durch Personen ausbleibt.

Das Kontrollpersonal muss zudem genau und wiederkehrend geschult werden, worauf es zu achten hat (Sehen, Hören, Riechen, Spüren). Am besten erfolgt dies nach einer vorgegebenen, gebildeten Checkliste.

7.5 Objekthandhabung unter verschiedenen Klimabedingungen

Kühl und trocken

Je trockener und kühler das Raumklima ist, desto spröder werden viele organische Materialien. Die Handhabung muss dementsprechend sorgfältiger erfolgen. Flexible Objekte wie Textilien und Papier sind stets auf einer Unterlage zu bewegen oder zu transportieren. Da die meisten Sammlungsobjekte in den Depots kaum bewegt werden, ist dies kaum ein größeres Problem.

Erhöhte Temperatur

Gewissen Materialien wie Wachs, Kunststoffe und Klebstoffe können bei höheren Temperaturen erweichen und klebrig werden. Sie sollten in diesem Zustand möglichst *nicht* angefasst werden und sind zudem sehr staubempfindlich.

8 Risiken

Risiken geben Anlass, diese in einer Notfallplanung zu berücksichtigen und mögliche Szenarien durchzuspielen. Auf dieser Grundlage sind die notwendigen Vorkehrungen und Vorbereitungen zu treffen.

8.1 Feuchtigkeit

Bauliche Mängel

Klimaprobleme in Gebäuden sind häufig auf bauliche Mängel zurückzuführen. Schäden am Gebäude werden nicht bemerkt und in der Folge dringt Feuchtigkeit ein oder kann nicht abgeführt werden. Das kann ein defekter Dachziegel, eine defekte Dachrinne oder ein defektes Fallrohr sein. Es kann aber auch an einer falschen Planung liegen. Eine Fläche direkt an der Fassade wurde so dicht versiegelt, dass der Mauersockel nicht mehr austrocknen kann und die Mauer durch aufsteigende Feuchtigkeit geschädigt wird. Zu nahe an der Fassade gepflanzte Sträucher und Bäume können zu feuchtem Mauerwerk führen. Auch eine falsche Materialwahl, z.B. ein diffusionsoffener Anstrich, kann einen Einfluss haben.

Jedes Gebäude ist regelmäßig auf Schäden zu kontrollieren und rechtzeitig instand zu setzen. Eine frühzeitige Reparatur ist billiger als eine spätere Sanierung.

Tipp: Bei Neubauten ist das Gebäude inklusive der Haustechnik während der Gewährleistungsfrist besonders genau zu beobachten, damit Mängel vor Ablauf der Gewährleistungsfrist behoben werden können. Diese Aufgabe obliegt üblicherweise dem Bauherrn, der jedoch auf die Zuarbeit von Informationen durch die Nutzer angewiesen ist.

Unterirdische und erdberührte Räume

Erdberührte Räume sind hinsichtlich der Feuchtigkeit oft problematisch. Sie wurden daher in historischen Gebäuden nie als Trockenräume konzipiert. Erst mit dem Fortschritt der Bautechnik wurde es möglich, die erforderliche Dichtigkeit und Dämmung einigermassen zu gewährleisten.

Siehe Abschnitt 6.3 Wasserdichtigkeit der Gebäudehülle.

Historische Keller verfügten in der Regel über ein ausgeklügeltes natürliches Belüftungssystem, das in jüngerer Zeit allzu oft vernachlässigt und durch falsch verstandene Abdichtungsmaßnahmen außer Funktion gesetzt wurde. Die Feuchtigkeit, die durch den Boden (z.T. gewachsener Boden) und das Mauerwerk eindrang, konnte nicht mehr abgeführt werden und die Räume wurden oder blieben sehr feucht. Solche Räume sind für die Lagerung von Kulturgütern ungeeignet und eine mechanische Entfeuchtung ist nur ein energieaufwändiger Kampf gegen die Physik.

Tipp: In der Schweiz sind Kulturgüterschutzräume (oft ehemalige Zivilschutzanlagen) immer unterirdisch angelegt und mit schweren Panzertüren und Notbelüftungssystemen ausgerüstet. Diese

Schwachstellen müssen regelmäßig kontrolliert, gewartet und auf Dichtheit geprüft werden. Da es sich häufig um ältere Gebäude handelt, sind die Wände oft nicht vollständig feuchtigkeitsdicht und weisen zum Teil konstruktive Wärmebrücken auf.

Durch Bauarbeiten, Erdbewegungen und Erdbeben oder nicht mehr funktions-tüchtige Entwässerungssysteme (z. B. defekte Sickerleitungen) können sich unterirdische Wasserströme verschieben. Dadurch kann sich Wasser an und unter Gebäuden stauen. Wasser kann in der Folge durch undichte Fugen oder Risse in der Bodenplatte und in den Wänden ins Gebäude eindringen.

Betriebliche Mängel

Zu den Aufgaben eines Hausmeisters oder Haustechnikers gehören die Kontrolle und Wartung des Gebäudes sowie aller technischen Anlagen und Systeme. Dazu gehört beispielsweise auch, im Herbst die Dachrinnen von Laub zu befreien, die Abflüsse freizuhalten, gefährdete Stellen von Schnee zu räumen und Büsche und Bäume rechtzeitig zurückzuschneiden. Werden diese Arbeiten nicht rechtzeitig ausgeführt, kann es zu Wassereinbrüchen oder Durchfeuchtungen der Konstruktion kommen.

Häufig werden Sammlungen in ungeeigneten Räumen aufbewahrt (z. B. feuchte Keller oder Bunker). Die Objekte stehen direkt auf dem Boden oder an der Wand, sind (zu) dicht an dicht gestellt oder unsachgemäß übereinandergestapelt, so dass sich im ungünstigsten Fall ein feuchtes Mikroklima bilden kann. *Ein Depot ist keine Rumpelkammer in welche ungeordnet eingelagert wird.* Vielmehr sollen die Objekte in einem Depot sachgerecht und geordnet gelagert werden.

Tipp: Vor allem bei älteren Gebäuden ist *immer* genügend Abstand zu Außenwänden einzuhalten und Objekte stehen *grundsätzlich nie* direkt auf dem Boden.

Starkregen, Hochwasser, Grundwasser, Schnee

Im Zuge des Klimawandels werden extreme Wetterereignisse tendenziell häufiger auftreten. Es ist daher unerlässlich, sich auf solche Situationen vorzubereiten, z. B. durch zusätzlichen baulichen oder mobilen Hochwasserschutz, Verlagerung von Sammlungen an ungefährdete Orte etc. Dach, Fenster, Türen und Tore, ggf. auch der Boden sind so instand zu halten, dass Starkregen oder Sturm (Schlagregen) nicht zu Wassereinbruch oder zur Durchfeuchtung der Innenräume führen können.

Tipp: Abflussrohre von Entwässerungsdolen sind mit einer Rückschlagklappe zu versehen, damit Wasser nicht aus der Kanalisation in einen Raum gelangen kann.

Die zu treffenden temporären Massnahmen hängen stark von der Vorwarnzeit bis zum Eintreten des Ereignisses ab. V.a. bei entfernten Gebäuden ist *nicht* damit zu rechnen, dass rechtzeitig temporäre Massnahmen wie Hochwassersperrren aufgebaut werden können.

Übergangszeit im Frühjahr, warme Jahreszeit

Ältere Gebäude weisen aufgrund ihrer Bauweise selten eine dichte Gebäudehülle auf. Steingebäude oder Keller sind zudem oft massiv, thermisch träge und meistens nicht gedämmt. Dies führt dazu, dass solche Gebäude im Frühjahr bei milden Außentemperaturen im Innern noch kalt sind. Bei erdberührten Räumen ist dieses Phänomen während der gesamten warmen Jahreshälfte akut. Durch das Eindringen von wärmerer und feuchterer Außenluft kann die relative Luftfeuchtigkeit im Innenraum stark ansteigen. Es kann daher sinnvoll sein, das Gebäude im Frühjahr bei günstigen Außenbedingungen (z. B. Bise) zu lüften, um die Situation in den Innenräumen zu verbessern und die Räume aufzuwärmen und zu trocknen. Unterirdische Räume sind in der Übergangszeit besonders zu überwachen und müssen gegebenenfalls mechanisch entfeuchtet werden.

Falsches Lüften (allgemein)

Manuelles Lüften von Räumen sollte dann erfolgen, wenn die zugeführte Außenluft zu einer Verbesserung des Raumklimas führt.

Wann und wie lange gelüftet werden soll, erfordert Erfahrung. Kurzes «Stosslüften» bringt meistens den erwünschten Effekt.

Da der Mensch ein schlechter Klimasensor ist, kann hier eine sogenannte „Mesmer- oder Küster-Ampel“ verwendet werden, wie sie in Kirchen und Kapellen zu finden ist. Zwei Sensoren messen Temperatur und Luftfeuchtigkeit außen und innen, vergleichen sie und zeigen mit einer Ampel an, ob Lüften sinnvoll (grün), kontraproduktiv (rot) oder bzgl. der Feuchtigkeit wirkungslos (orange) ist. Diese Steuerung kann auch zum automatisierten Öffnen und Schließen von Kippfenstern oder dem Betrieb eines kleinen Ventilators genutzt werden. In einfachen Depots kann diese Technik auch für den Betrieb einer Nachtkühlung im Sommer eingesetzt werden.

siehe auch Abschnitt 8.2 Trockenheit, Falsches Lüften im Winter

Besucher

Größere Besuchergruppen können bei längerem Aufenthalt in einem Depot das Klima durch Feuchte- und Wärmeeintrag beeinflussen. Je kleiner der Raum und je größer die Gruppe, desto stärker ist der Einfluss. Der Aufenthalt von Gruppen im Depot sollte daher auf das notwendige Maß beschränkt werden.

8.2 Trockenheit

Sonne, hohe Temperaturen

Ungedämmte, sonnenexponierte Flächen (v.a. Fenster) wirken wie eine Heizplatte und geben Wärme an den Innenraum ab. Dies führt in dichten Räumen zu starken Schwankungen der relativen Luftfeuchte im Tagesverlauf. Ein außen liegender Sonnenschutz kann die Sonneneinstrahlung teilweise abschirmen, insbesondere wenn er hinterlüftet ist und die dahinter aufgestaute Wärme abgeführt werden kann. Warme Luft sollte daher im Sommer aus den Storen-, Rollladen- oder Jalousiekästen nach oben entweichen können. Im Winter hingegen soll die

erwärmte Luft vorzugsweise hinter der Beschattung als Übergangsschicht verbleiben.

Tipp: Der Einfluss der direkten Sonneneinstrahlung auf die Temperatur und die relative Luftfeuchte lässt sich im kleinen Maßstab sehr gut an einer zeitweise sonnenbeschienenen, dichten Vitrine nachvollziehen. Die Temperatur im Inneren wird steigen, während die relative Luftfeuchtigkeit sinkt.

Heizperiode

Wird die Temperatur in einem Raum erhöht, *ohne* die absolute Feuchte zu verändern, sinkt in der Regel³⁰ die relative Luftfeuchtigkeit. Jedes Heizen trocknet also ein einigermaßen dichtes Gebäude aus. Um dies zu verhindern, muss ggf. befeuchtet werden. Kommt eine undichte Gebäudehülle hinzu, sinkt die relative Luftfeuchte im Raum in den kalten Monaten auch durch einsickernde, trockene Außenluft weiter ab.

Eine Absenkung der Raumtemperatur *ohne* Veränderung der absoluten Feuchte führt zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte.

Falsches Lüften im Winter

Je stärker Gebäude im Winter beheizt werden, desto niedriger wird die relative Luftfeuchtigkeit in den Räumen. Wird bei kalter und trockener Witterung zusätzlich gelüftet, sinkt die Raumluftfeuchte weiter ab und kann kritische Werte erreichen. Daher sollte im Winter das Lüften vermieden werden. Ist es zu warm, muss die Temperatur über die Heizungsregelung gesenkt werden.

Ist Lüften aus hygienischen Gründen erforderlich, ist kurzes „Stoßlüften“ sinnvoll.

8.3 Technische Risiken

Moderne Gebäudetechnik ist auf Strom als Energiequelle angewiesen. Fehlt er, steht auch die ausgefeilteste Technik still. Batterien und Notstromaggregate können die Lücke nur kurzfristig schließen (maximal über einige Stunden). Im Idealfall kann das Gebäude das Klima für einige Tage aufrechterhalten. Spätestens dann zeigt sich, wie resilient ein Gebäude ist oder wie sinnvoll passive Gebäudetechnik wäre bzw. ist.

Klimaanlagen

Klimaanlagen sind heute komplexe Systeme mit komplexen Steuerungen. Fällt eine Komponente aus, ist im schlimmsten Fall das gesamte System gefährdet. Der Ausfall kann beispielsweise einen Sensor, einen Motor, eine Klappe oder die Software betreffen. Fällt die Anlage im Hochsommer oder im tiefsten Winter aus, können innerhalb kürzester Zeit kritische Situationen erreicht werden. Bei der

³⁰ Sie dazu auch Abschnitt 4.1 Relative Luftfeuchtigkeit, Absatz Sonderfall Cellulose (Holz, Papier, Karton)

Planung solch komplexer Systeme müssen auch Störfälle antizipiert und entsprechende Notfallszenarien berücksichtigt werden.

Auch eine unzureichende Wartung der Filter kann zu einem Leistungsabfall führen, so dass die Anlage ihre Aufgabe nicht mehr erfüllen kann.

Unzureichende Dimensionierung von Lüftungskanälen und ungünstige Anordnung von Auslässen oder Absaugstellen können zu ungenügender Luftverteilung im Raum und zu großen Gradienten (Unterschiede zwischen den Messwerten an verschiedenen Stellen im Raum) führen.

Ein bislang unterschätztes Risiko ist, dass durch Personalfluktuationen in Institutionen und Firmen wertvolles Wissen und Erfahrung in der Anlagensteuerung verlorengehen. Der technische Fortschritt führt zudem dazu, dass Steuerungssysteme schnell veralten und zum Teil bereits nach kurzer Zeit nicht mehr vollständig verstanden werden. Die Einfachheit eines Systems ist nach wie vor der beste Garant dafür, dass es verstanden wird.

Mobile Entfeuchter:

Mobile Entfeuchtungsgeräte müssen regelmäßig entleert oder besser an einen Abfluss angeschlossen werden. Ist der Auffangbehälter voll oder der Abfluss verstopft, muss der Entfeuchtungsbetrieb automatisch eingestellt werden. Dies ist meistens mit einem Schwimmerschalter gelöst, der ggf. einen Notschalter auslöst, wenn der Behälter voll ist und zu überlaufen droht.

Tipp: Nach dem Entleeren der Auffangbehälter ist *immer* darauf zu achten, diesen wieder korrekt einzusetzen damit der Schwimmer (= Ausschaltmechanismus wenn Behälter voll) auch funktionieren kann.

Die Entfeuchtungsleistung kann normalerweise mit einem Regler (Hygrostat) auf einen bestimmten Zielwert eingestellt werden. Durch unsachgemäße Handhabung oder Manipulation durch Dritte kann das Gerät falsch eingestellt werden und zu wenig oder zu viel entfeuchten. Es ist daher sinnvoll, die tatsächliche Luftfeuchtigkeit im Raum regelmäßig und unabhängig zu kontrollieren und ggf. den Regler zu justieren.

Tipp: Auch Luftentfeuchter sollten mindestens einmal jährlich kontrolliert und gereinigt werden.

! Auch wenn eine Entfeuchtung der Depots installiert ist, entbindet dies *nicht* von der persönlichen Überwachung und regelmäßigen Kontrolle der Räume.

Mobile Befeuchter:

Mobile Befeuchtungsgeräte verdunsten oder verdampfen Wasser. Verdunster sind sehr wartungsintensiv, da Wasserbehälter und Verdunstungsmatten regelmäßig gereinigt werden müssen, um Schimmelbildung im Gerät und in der Folge einer Verbreitung von Schimmelsporen im Raum vorzubeugen. Verdampfer verkalken je nach Wasserhärte mehr oder weniger schnell.

Bei Ausfall von Sensoren (*Hygrostat*) besteht die Gefahr der Überfeuchtung im Raum.

Die Befeuchtungsleistung kann normalerweise mit einem Regler eingestellt werden. Durch unsachgemäße Handhabung oder Manipulation kann das Gerät falsch eingestellt werden und zu viel oder zu wenig befeuchten. Es ist daher sinnvoll, die tatsächliche Luftfeuchtigkeit im Raum regelmäßig und unabhängig zu kontrollieren. Eine Alarmierung bei Überschreitung oder, weniger gravierend, bei Unterschreitung eines bestimmten Feuchtwertes ist sinnvoll. Eine zu hohe Luftfeuchtigkeit wirkt sich in der Regel gravierender aus als eine zu niedrige.

Jeder nicht eigenstabile Depotraum, in dem das Klima durch Entfeuchter, Befeuchter, Lüftungs- oder Klimaanlage aktiv beeinflusst wird, muss wöchentlich begangen und kontrolliert werden. Alarmsysteme, die Klimaalarme (v.a. bei zu hoher Luftfeuchtigkeit) an eine Person weiterleiten sind hilfreich. *Sie verkürzen ggf. die Reaktionszeit, ersetzen jedoch nicht die regelmäßige persönliche Kontrolle.*

Missachtung von Gebäudeeigenheiten und bestehenden Steuerungsmöglichkeiten

Jedes Gebäude hat seine architektonischen und bautechnischen Besonderheiten. Oft sind in historische Häuser Erfahrungen und Kenntnisse früherer Generationen eingeflossen, die wir heute nicht mehr erkennen oder verstehen. Einfache passive Lüftungssysteme sorg(t)en für einen ausreichenden Luftaustausch und die Regulierung des Raumklimas. Werden diese Steuerungsmöglichkeiten nicht mehr genutzt, droht das empfindliche klimatische Gleichgewicht in einem Gebäude zu kippen. Es sind aber gerade diese sinnvollen, auf Erfahrung beruhenden konstruktiven Vorkehrungen, die einen weitgehend passiven Gebäudebetrieb ermöglichen würden.

Ein bestehendes Gebäude entspricht nicht unbedingt den heutigen Anforderungen und eine aktive Beeinflussung des Raumklimas (z.B. Befeuchtung) kann zu bauphysikalischen Problemen führen. Gegebenenfalls müssen Abstriche zugunsten der Bausubstanz gemacht werden, um diese nicht zu gefährden. Bevor man ein Gebäude klimatechnisch „aufrüstet“ (z.B. im Winter beheizt und befeuchtet), muss man wissen, «wie es funktioniert» und was seine Bausubstanz leisten kann. Nur so kann man dem Gebäude gerecht werden und eine nachhaltige Lösung finden, die auch den eingelagerten Sammlungsobjekten gerecht wird.

Kellerräume waren früher nie als trockene Räume und damit zur Lagerung feuchteempfindlicher Objekte konzipiert. Ebenso wenig konnte und wollte man früher Räume ins Grundwasser hineinbauen. Oberflächen- und Hangwasser wurde systematisch mittels Sickerplatten, und Sickerleitungen vom Haus ferngehalten und die Sockelzone wurde aussen so weit freigehalten und belüftet, dass sie austrocknen konnte. Dies wäre auch heute eine gute Strategie.

8.4 Rauch

Rauch kann im Ereignisfall über Klimaanlage, Türen und weitere nicht verschlossene Durchbrüche in Räume gelangen und sich auf allem und jedem niederschlagen. Rußablagerungen sind von den meisten Oberflächen nicht oder nur mit größtem Aufwand wieder zu entfernen. Jede Umhüllung oder Verpackung eines Objekts bieten mehr oder weniger Schutz davor. In Klimaanlage sind Brandschutzklappen Standard, sie sollten jedoch zu jedem Raum hin ausgeführt sein (nicht nur zwischen Brandabschnitten).

Türen zwischen Brandabschnitten müssen grundsätzlich als zertifizierte rauchdichte Brandschutztüren ausgebildet sein. Da jedoch mehrerer Depoträume in *einem* Brandabschnitt liegen können ist darauf zu achten, dass auch alle *nicht* als Brandschutztüren deklarierten Türen rauchdicht ausgeführt werden. Sie müssen jedoch nicht zertifiziert sein.

Tipp: In Bestandsbauten gibt es oft Mauerdurchbrüche zwischen Räumen, durch die Leitungen aller Art verlegt sind oder die nicht mehr benötigt werden. Diese Öffnungen sind in der Regel zu verschließen, es sei denn, sie erfüllen eine climatechnische Funktion. Nicht jede Öffnung oder jeder Schacht ist funktionslos. Sie können Teil eines sinnvollen Gesamtsystems sein. Gegebenenfalls haben diese Öffnungen und Schächte auch «nur» eine Funktion in Ausnahmesituationen wie beispielsweise bei Starkregen oder Hochwasser.

9 Klima außer Rand und Band – erste Maßnahmen

9.1 Zu hohe Luftfeuchtigkeit - Schimmelbefall

Hochwasser, Leitungsbruch oder sonstiger Feuchteintrag können zu einem schnellen Anstieg der Luftfeuchtigkeit in einem Depotraum führen. Im Extremfall kann bereits nach Stunden oder wenigen Tagen ein starker Schimmelpilzbefall auftreten (Siehe Abbildung 2 Schimmelwachstum). Es besteht zudem eine akute Gesundheitsgefährdung für Mitarbeiter, die in diesen Räumen arbeiten.

Maßnahmen:

- Personal ausreichend schützen zur Arbeit in kontaminierten Depoträumen (Schutzanzug, Handschuhe, FFP3-Maske bzw. Gebläsehaube mit entsprechendem Filter etc.)
- Erste Maßnahmen
 - Ursache beheben
 - Wasser abpumpen
 - Wasser mit Wassersaugern absaugen, bis kein flüssiges Wasser (glänzend) mehr erkennbar ist
- Betroffene Räume von nicht betroffenen Räumen abtrennen (Türen und Durchbrüche mit Bauplastik abkleben, Öffnungen in Klimakanälen im betroffenen Raum verschließen, um ein weiteres Verschleppen von Pilzsporen zu verhindern).
- Luftfeuchtigkeit durch Lüften und Entfeuchter reduzieren

In einem ersten Schritt sollte die Luftfeuchtigkeit möglichst schnell und effektiv auf einen Wert von ca. 55° rF reduziert werden. Ist dieser Wert erreicht, muss die weitere Entfeuchtung langsam erfolgen, damit der Schimmelpilz nicht als „Stressreaktion“ vermehrt Sporen bildet.

- Durchnässte Objekte so aufstellen, dass sie trocknen können. Ggf. durchnässte Objekte bis zur weiteren Behandlung tiefgefrieren.
- Objekte reinigen und an einen trockenen, sauberen Ort bringen (Objekte, die von Schimmelpilzen befreit wurden, neigen unter ungünstigen Bedingungen eher zu erneutem Schimmelbefall, da das Mycel in das Material eingedrungen ist).
- Entsorgen von potenziell befallenem Material wie Holz, Kartonschachteln, Kisten etc.
- Intensives Reinigen der Räumlichkeiten inkl. aller betroffenen technischen Einrichtungen wie Lüftungstechnische und elektrische Installationen.

Diese Sofortmaßnahmen sind heikel und müssen der jeweiligen Situation angepasst werden. Sie müssen daher von geschultem Personal und Fachleuten durchgeführt oder begleitet werden, um Sekundärschäden zu vermeiden. Zudem sind die erforderlichen Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter zu treffen (siehe oben).

9.2 Zu niedrige Luftfeuchtigkeit

Ursachen

Eine niedrige Luftfeuchte in einem Raum entsteht in erster Linie durch:

- Erhöhung der Raumtemperatur beim Heizen, ohne dass befeuchtet wird
- trockene Außenluft mit geringerem *absolutem* Feuchtegehalt als im Rauminnen, welche durch die undichte Gebäudehülle einsickert
- Außenluft, welche durch die undichte Gebäudehülle einsickert und bei Erwärmung im Raum zu einer *relativen* Luftfeuchte unterhalb des Zielwerts führt
- unkontrolliertes (zu langes) Lüften im Winter

Maßnahmen

- Türen (z.B. zu Treppenhäusern und Korridoren) schließen, um ein weiteres Austrocknen zu verlangsamen
- Heizung zurückdrehen, um die Temperatur zu senken. Dies führt bei gleichbleibender *absoluter* Feuchte zu einer Erhöhung der *relativen* Luftfeuchte
- Undichtigkeiten in der Gebäudehülle verringern (ggf. inkl. nicht mehr genutzte Kanäle, Schächte, Kamine und Durchbrüche)
- Räume im Winter nur kurz für wenige Minuten lüften. Am effektivsten erfolgt dies wenn zwei gegenüberliegende Fenster geöffnet werden (Querlüften).

Der angestrebte Zustand sollte langsam wieder erreicht werden. Ein hastiges, zu schnelles Befeuchten ist zu vermeiden.

10 Begriffe

Definitionen einiger Begriffe:

Raumklima

Das Raumklima beschreibt im Wesentlichen die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit in einem Raum. Darüber hinaus können die chemische Zusammensetzung sowie die Belastung der Luft mit Schadstoffen und Gerüchen Aspekte des Raumklimas sein.

Luftaustausch

Austausch der «verbrauchten» Innenluft gegen «frische» Außenluft. Ein einfacher Luftaustausch pro Stunde bedeutet, dass im Idealfall die Innenluft innerhalb einer Stunde vollständig durch Außenluft ersetzt wird.

Luftumwälzung

Luftmenge in m³, die pro Stunde durch eine Lüftungs- oder Klimaanlage bewegt wird.

Luftfilter

Mit **Luftfiltern** werden Stäube (Partikel) und ggf. Gase aus der Außen- oder Raumluft abgeschieden. Das Ergebnis ist saubere(re) Luft. Filter müssen regelmässig ausgetauscht oder gereinigt werden. Je feiner Filter sind, desto mehr und kleinere Partikel können sie abscheiden. Je höher die Filterklasse, desto höher sind auch die Kosten.

HEPA-Filter (High-Efficiency Particulate Air/Arrestance, H13, H14)

HEPA-Filter haben eine Effizienz von 99,995% für Staubpartikel, die 0,3 Mikrometer oder größer sind.

HEPA-Filter werden in guten Staubsaugern verwendet.

ULPA-Filter (Ultra-Low Particulate Air/Arrestance, U15, U16)

ULPA-Filter können 99,99995% der Staubpartikel von 0,12 Mikrometer oder größer abfangen. ULPA-Filter werden beispielsweise in Reinräumen und Unterdruckhaltegeräten verwendet.

Vgl. Wikipedia, Artikel „Partikelfilterklassen“

Staubmasken (Einsatzbereiche *nicht* abschliessend!)

Staubmasken werden in verschiedene Kategorien eingeteilt:

FFP2 Russ, Bohrstaub

FFP3 Pilsporen, Schimmel, Asbest, Arsenverbindungen, Pestizide

Aktiv beeinflussen des Raumklimas

Aktive Beeinflussung bezeichnet die technische Veränderung des Raumklimas durch Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten oder eine Kombination davon.

Im Gegensatz dazu steht die natürliche Belüftung durch die Undichtigkeit der Gebäudehülle oder das Lüften eines Raumes durch Öffnen von Fenstern und/oder Türen.

Datalogger

Elektronische Geräte, welche beliebige Daten aufzeichnen können. In der Klimadiskussion werden in der Regel Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit in vorgegebenen Intervallen aufgezeichnet. Die Daten werden im Gerät gespeichert und können vor Ort ausgelesen werden oder sie werden über LAN/WLAN an eine zentrale Stelle zur Betrachtung/Auswertung weitergereicht. Gewisse Datalogger zeigen die aktuellen Werte auch in einem kleinen Display an.

Thermohygrograph (mechanisch)

Messgerät, das die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit auf einem Papier aufzeichnet. Das Feuchtemesselement war ursprünglich ein (Frauen-)Haar, später eine Kunststoffsaiten. Heute meistens ersetzt durch elektronische Datalogger.

Hygrostat

Ein Hygrostat steuert den Betrieb von Luftbe- und Luftentfeuchtern und dient der Konstanthaltung der relativen Luftfeuchtigkeit in Räumen.

Luftfeuchte

Absolute Luftfeuchte (g/m^3)

Wassergehalt der Luft, angegeben in g pro kg trockener Luft. Dieser Wert ist *unabhängig* von Lufttemperatur und Luftdruck.

Relative Luftfeuchte (deutsch rF oder englisch RH)

In Abhängigkeit von Temperatur und Luftdruck* kann ein gegebenes Luftvolumen nur eine gewisse Höchstmenge Wasserdampf enthalten. Die relative Luftfeuchtigkeit ist das geläufigste und am einfachsten messbare Maß für den Feuchtegehalt in der Luft, angegeben in Prozent r.F.

Die relative Feuchte φ bezeichnet das Verhältnis des Wasserdampfpartialdrucks p_D zum Sättigungsdruck p_S , bei gegebener Temperatur. Respektive das Verhältnis der vorhandene Wasserdampfmasse / maximal mögliche Wasserdampfmasse. Sie lässt unmittelbar erkennen, zu welchem Grad die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist.

Die zur Sättigung benötigte Wasserdampfmenge ist temperaturabhängig. Eine Angabe des Feuchtegehalts als relative Feuchte ist daher nur bei gleichzeitiger Angabe der Temperatur aussagekräftig.

Bei gleichbleibender absoluter Feuchte und einem Temperaturanstieg von 1°C sinkt die relative Luftfeuchtigkeit um ca. 2 bis 3 %.

* Der Einfluss des Luftdrucks ist in unserem Zusammenhang vernachlässigbar

Konservatorisches Heizen («Conservation Heating»)

Erhöhen der Raumtemperatur, mit dem Ziel die relative Luftfeuchtigkeit zu reduzieren.

Vorsicht bei grösseren Mengen Holz, Papier, Karton in einem Raum, da sich hier ein gegenteiliger Effekt einstellen kann (die relative Luftfeuchtigkeit steigt mit zunehmender Temperatur).

Erklärung siehe Abschnitt 4.1 Relative Luftfeuchtigkeit, Absatz Sonderfall Cellulose (Holz, Papier, Karton)

Taupunkt

Der Taupunkt ist die Temperatur, auf die Luft abgekühlt werden muss, damit der enthaltene Wasserdampf kondensiert und sich als Tau, Nebel oder Reif niederschlägt.

Gradient (Temperaturgradient, Feuchtegradient)

Unterschied in Temperatur und/oder Feuchte an verschiedenen Stellen im Raum.

Nachtauskühlung

Nachtauskühlung ist ein Kühlsystem, das die kühlere Nachtluft nutzt, um tagsüber gespeicherte Wärme in Gebäuden abzuführen. Dies geschieht durch gezieltes Öffnen von Fenstern oder Lüftungsöffnungen in der Nacht, um die kühle Außenluft hereinzulassen und warme Luft abzuführen (vorzugsweise in den frühen Morgenstunden). Dabei ist darauf zu achten, dass die Luftfeuchtigkeit nicht zu stark schwankt.

Messmerampel, Küsterampel

Zwei Sensoren messen Temperatur und Luftfeuchtigkeit außen und innen, vergleichen sie und zeigen mit einer Ampel an, ob Lüften bzgl. der Beeinflussung der Luftfeuchte sinnvoll (grün), kontraproduktiv (rot) oder wirkungslos (orange) ist. Diese Steuerung kann auch zum automatisierten Öffnen und Schließen von Kippfenstern oder dem Betrieb eines kleinen Ventilators genutzt werden. Diese Technik kann auch für den Betrieb einer Nachtkühlung im Sommer eingesetzt werden.

Saisonal gleitendes Klima

Bei der aktiven Klimasteuerung werden die Sollwerte für Temperatur und relative Feuchte im Verlaufe der Jahreszeiten angepasst, um den technischen Aufwand und den Energieverbrauch zu optimieren. Im Sommer liegen die Sollwerte höher als im Winter.

Befeuchten

A.) Durch manuelles Lüften kann die Luftfeuchte in einem Raum erhöht werden, wenn die Außenluft absolut feuchter ist als die Raumluft.

- B.) Mit technischen Mitteln wird aktiv die Luftfeuchtigkeit in einem Raum erhöht. Dies kann durch Verdunstung oder Verdampfung von Wasser erfolgen.

Entfeuchten

- A.) Durch manuelles Lüften kann die Luftfeuchte in einem Raum reduziert werden, wenn die Außenluft absolut trockener ist als die Raumluft.
- B.) Mit technischen Mitteln wird aktiv die Luftfeuchtigkeit in einem Raum reduziert. Dies geschieht in der Regel durch ein Kühlelement, an welchem die Feuchtigkeit kondensiert oder durch Adsorption an ein Trockenelement, das später durch Erhitzen regeneriert wird.

Wärmebrüchen (Kältebrücken)

Eine Wärmebrücke (umgangssprachlich auch als Kältebrücke bezeichnet) ist ein Bereich in *Bauteilen* eines *Gebäudes*, der Wärme besser leitet und damit Wärme schneller transportiert, als es durch die angrenzenden Bauteile geschieht. Dadurch kühlt das entsprechende Bauteil (z. B. eine Raumecke) schneller aus und erfährt somit eine tiefere Temperatur als die Umgebung. Bei Unterschreiten des *Taupunkts* kondensiert die in der Raumluft enthaltene Feuchtigkeit am Bauteil.

Wärmedämmung

Wärmedämmung bezeichnet die Reduktion des Durchganges von Wärmeenergie durch eine Hülle (z.B. Mauer, Fassade), um einen Raum vor Abkühlung oder Erwärmung zu schützen. Der umgangssprachliche Begriff Isolation ist falsch und sollte nur im Zusammenhang mit elektrischem Strom und Schwingungen verwendet werden.

Feuchteabdichtung von erdberührten Teilen

A. Schwarze Wanne

Als schwarze Wanne wird ein polymermodifizierter Bitumen-Dickanstrich oder bituminöse Bahnen als Feuchtesperre an der Aussenseite von erdberührten Betonbauteilen bezeichnet

B. Weisse Wanne, WU-Wanne

Als weisse Wanne wird die Verwendung von wasserundurchlässigem (WU) Beton bei erd- oder wasserberührten Teilen bezeichnet

C. Gelbe Wanne, K-Wanne

Als gelbe Wanne oder K-Wanne wird die Verwendung eines Frischbetonverbundvliessens beim Giessen des wasserundurchlässigen Betons bezeichnet. Diese Schicht dichtet zusätzlich an der Aussenseite des Bauwerks ab und kommt im Verbund mit einer weissen Wanne zum Einsatz.

Staub

Staub ist die Sammelbezeichnung für feste Stoffe in Gasen mit einem Durchmesser bis zu 500 µm und einer Sinkgeschwindigkeit < 10 cm/s. Sie können aus unterschiedlichsten Stoffen wie Pollen, Bakterien, Pilzsporen, Reifenabrieb, Ruß, Gesteinsstaub, Mineralfasern, feste Biozide etc. bestehen.

Integrated Pest Management (IPM)

Das Integrated Pestmanagement (IPM) umfasst alle Massnahmen, welche dazu dienen einen Schädlingsbefall (Nagetiere, Insekten, Schimmelpilze) zu verhindern, zu erkennen und gegebenenfalls zu bekämpfen: Sauberhaltung der Depots, Kontrolle/Beobachtung der Räume, Kontrolle von Einrichtungen, Sammlungsbeständen und Verpackungsmaterial auf Schädlingsbefall, Behebung von Schwachstellen sowie ggf. die Schädlingsbekämpfung.

Insektenschutzgitter

Feinmaschiges Gitter, das einem Fenster, einer Tür oder einer anderen Fassadenöffnung vorgesetzt ist und verhindert, dass Insekten ins Gebäudeinnere gelangen.

Die vorliegenden Definitionen basieren im Wesentlichen auf Wikipedia. Wir haben uns jedoch erlaubt, die Definitionen an unseren Kontext anzupassen und teilweise zu vereinfachen.

11 Hilfreiche Tools und Web-Ressourcen

Abgerufen 11. 2025

Das **Canadian Conservation Institute** (CCI) stellt auf seiner Webseite einige hilfreiche Online-Tools zur Verfügung.

<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/climate-guidelines/climaspec.html>

Das **Image Permanence Institute** (IPI) am Rochester Institute of Technology (RIT) hat einen älteren Taupunkt-Rechner aufgeschaltet, der mit hinterlegten Daten eine grobe Abschätzung der Risiken bei verschiedenen Klimakonstellationen ermöglicht.

<http://www.dpcalc.org>

https://www.rit.edu/ipi/sites/rit.edu.ipi/files/documents/understanding_preservation_metrics.pdf

(die Webseite ist keine gesicherte Webseite HTTPS)

Ressourcen der **Feuchte Akademie der Firma DWYEROMEGA** (ehemals PST - Process Sensing Technologies bzw. Rotronic)

Im Handbuch zur Luftfeuchtigkeit sind in neun Kapiteln viele Aspekte der Luftfeuchtigkeit und deren Messung erklärt.

<https://www.processsensing.com/de-de/blog/akademie/>

Ein sehr ausgefeilter Online-Feuchtigkeitsrechner des Finnischen Messgeräteherstellers **Vaisala**

<https://humiditycalculator.vaisala.com>

Museumpests, Internationale Webseite zu Schädlingen in Museen

<https://museumpests.net/>

12 Abbildungen und Diagramme

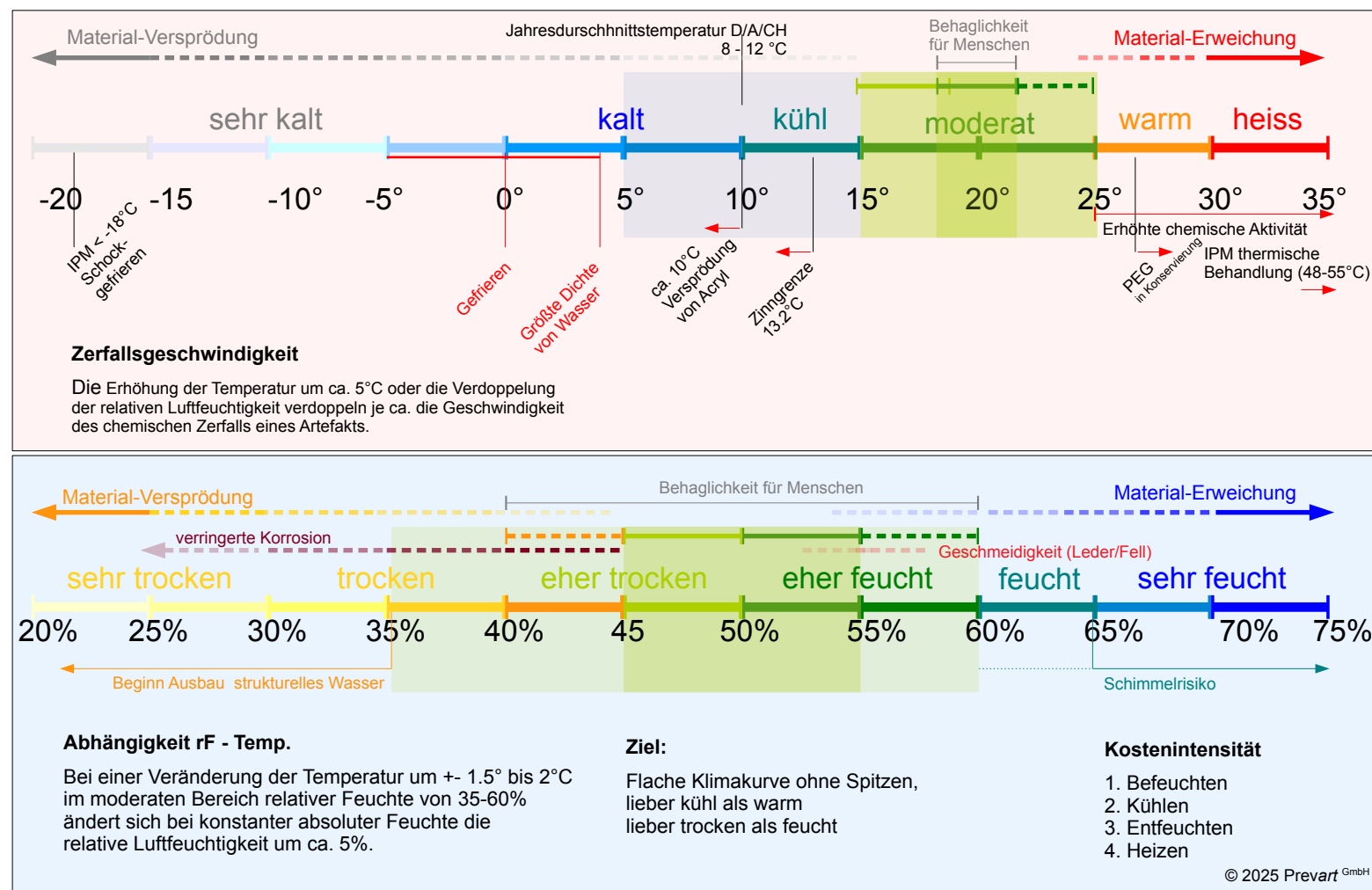


Abbildung 1 Diagramm, Angemessenes Klima für Kulturgut (Prevart)

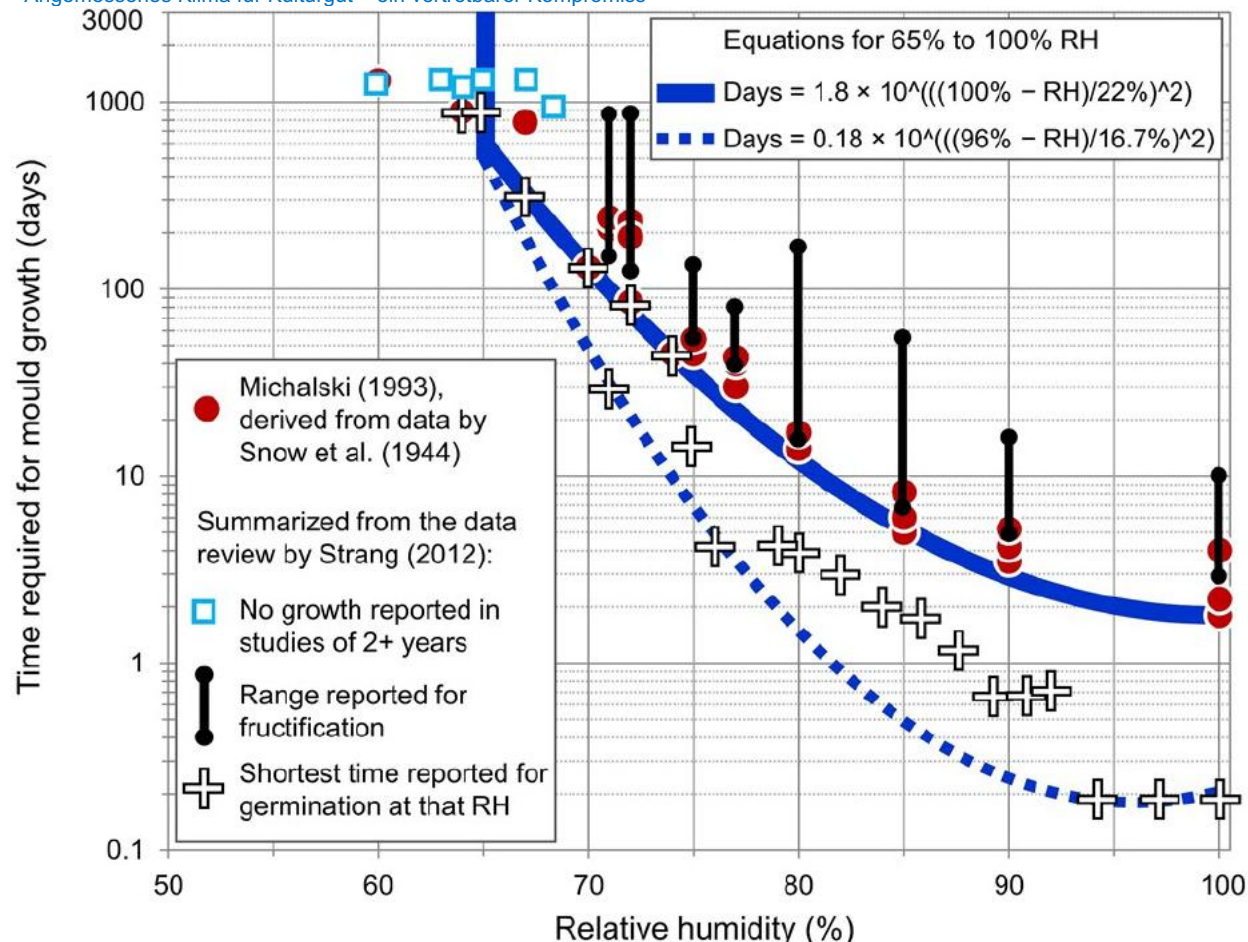


Abbildung 2 Schimmelwachstum nach x Tagen abhängig von der relativen Luftfeuchte

Das Diagramm umfasst zwei Kurven. Die vertikale Achse ist eine logarithmische Skala von 0,1 bis 3000, die die Anzahl der Tage angibt, die für das Schimmelwachstum erforderlich sind. Die horizontale Achse ist eine lineare Skala für die relative Luftfeuchtigkeit von 50 % bis 100 % rF. Beide Kurven beginnen bei 65 % rF oben links und fallen bis zu einem Plateau bei 100 % unten rechts ab.

Quelle: Webseite des Canadian Conservation Institute <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/climate-guidelines/explanation-mould-lifetime-calculators.html>

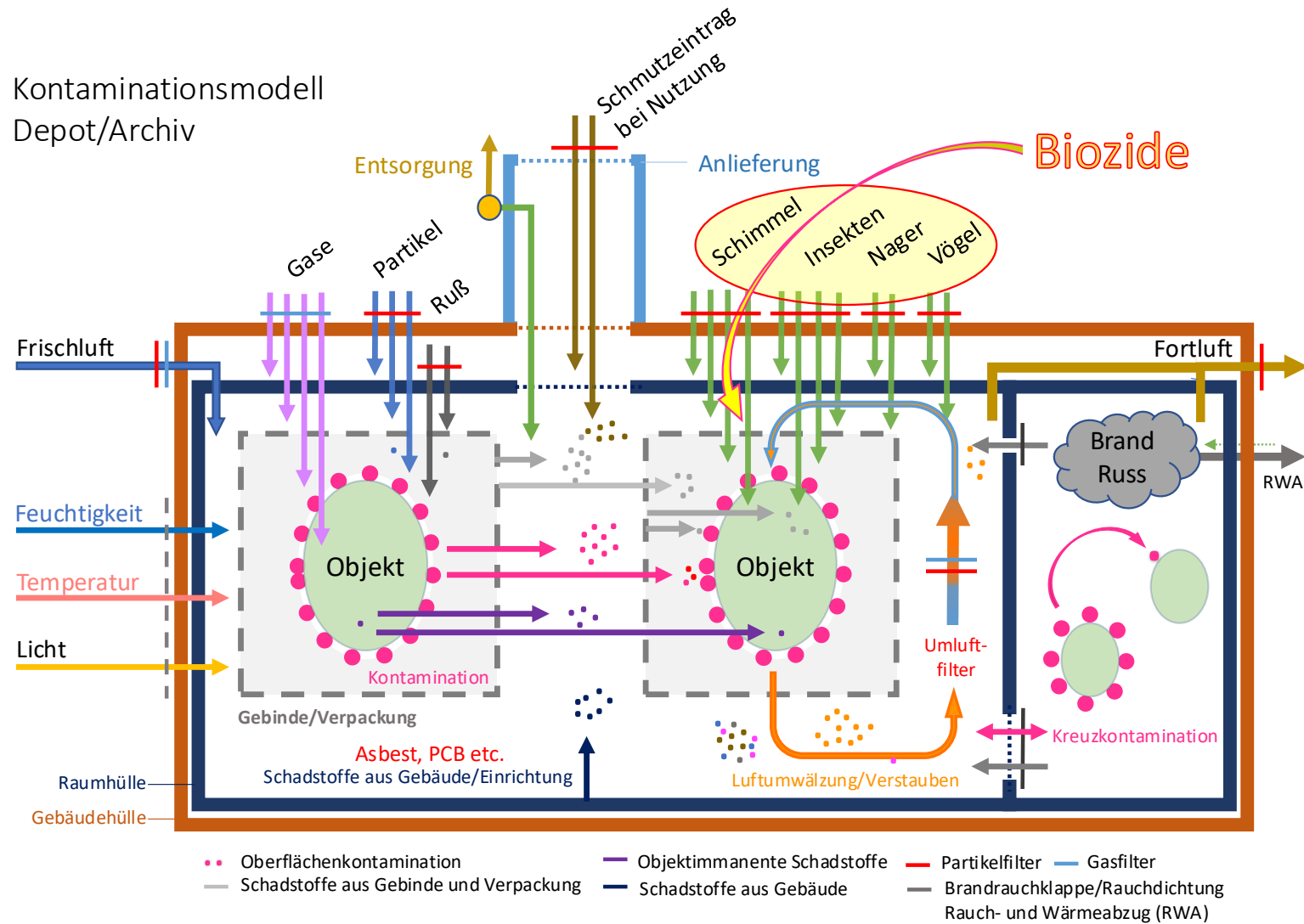


Abbildung 3 Kontaminationsmodell (Prevart)

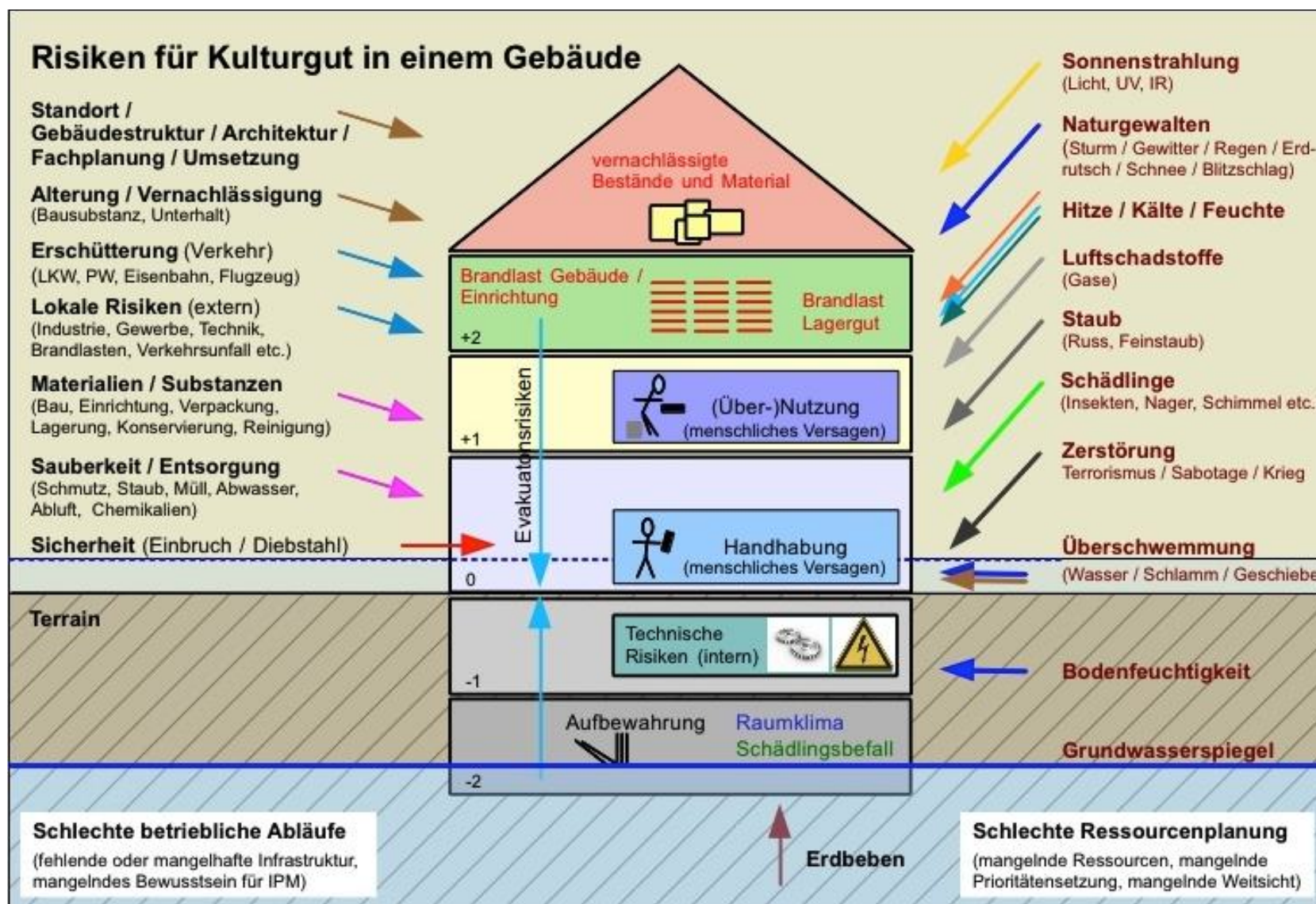


Abbildung 4 Risiken für Kulturgut in einem Gebäude (Prevart)

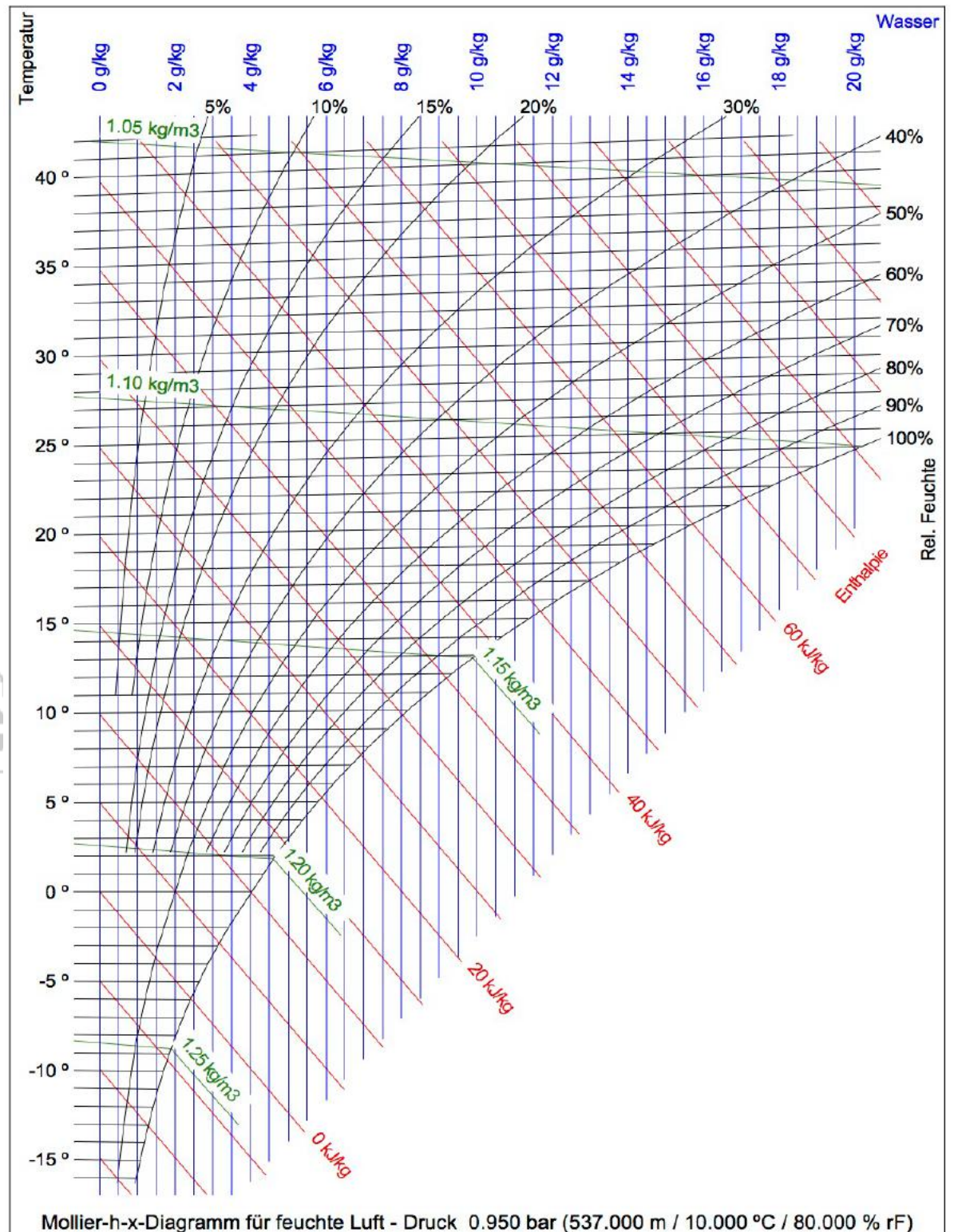


Abbildung 5 Mollier hx-Diagramm

Im Mollier-h-x Diagramm lässt sich ablesen, welche Auswirkungen eine Veränderung der Temperatur bei gleichbleibender **absoluter Luftfeuchte** auf die mit einfachen Messgeräten messbare **relative Luftfeuchte** hat.

Detaillierte Erklärung: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mollier-h-x-Diagramm>

13 Bibliografie

- Die umfassendste Zusammenstellung der Literatur bis 2023 findet sich im Anhang zu Kapitel 24 des Handbuchs der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). www.ashrae.org (Suche nach Application Handbook 2023, Chapter 24). Kostenpflichtiger Download https://store.accuristech.com/standards/a24-museums-galleries-archives-and-libraries-si?product_id=2573501 (abgefragt 10.2025).
- Ankersmit, Bart; Stappers, Marc, Managing Indoor Climate Risks in Museums, Springer Verlag 2016
- Bizot Group, Adopting the Bizot Green Guidelines (2023) <https://www.ne-mo.org/news-events/article/new-bizot-green-protocol-prioritises-sustainability-by-recommending-wider-climatic-conditions> (abgerufen 10.2025)
- Gemeinsamen kurzen Stellungnahme des International Council of Museums, Conservation Committee (ICOM-CC) und des International Institute of Conservation (IIC) anlässlich ihrer Sitzungen in Melbourne bzw. Honkong vom September 2014 <https://www.iiconservation.org/archives/about/policy-statements/environmental-guidelines> (abgefragt 10.2025)
- Managing Collection Environments: Technical Notes and Guidance des Getty Conservation Institutes (Als PDF herunterladbar 2023) https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/mce-technical-notes-and-guidance.html (abgefragt 10.2025).
- Museumsspezifische Artikel finden sich auch in den Tagungsakten der Kongresse von ICOM-CC, IIC bzw. der Indoor Air Quality Group (IAQ) unter <http://iaq.dk/iap.htm>, sowie im Archiv der Diskussionsliste des Global Conservation Forum (ehemals ConsDistList) <https://www.culturalheritage.org/globalconservationforum> (kostenpflichtige Mitgliedschaft, abgefragt am 10.10.2025).
- Eine Übersicht zu den aktuelleren Positionen gibt auch der Deutsche Museumsbund (2023) (<https://www.museumsbund.de/museumsklimatisierung>, (abgerufen 10.2025))

14 Dank für Kommentare und Hinweise

Während der Abfassung des Textes standen wir mit folgenden Personen im Austausch (in alphabetischer Reihenfolge). Dadurch konnten viele Unklarheiten ausgeräumt und wertvolle Hinweise berücksichtigt werden. Dies bedeutet jedoch nicht, dass der vorliegende Text die Meinung dieser Personen wiedergibt.

Dolder, Markus, Luzern

FAULAND Sabine, Graz

GREMBOWICZ Christina, Salzburg

HUSTEDT, Elisabeth, Stuttgart

HUBER Alphons, Wien

KÄFERHAUS Jochen, Wien

SCHREMS Bärbel, Wien

SEYFRIED Tina-Maria, Wien

von LERBER Karin, Winterthur

WALLER Christoph, Eichstetten

ZANE, Maja, Basel

ZIEGLER, Inga, München

Weitere Namen werden nach Zustimmung ergänzt

Und nicht zuletzt DeepL Write für die Hilfe bei der sprachlichen Vereinfachung.