

1 Inhalt

Einleitung.....	1
2 Das Projekt „Salzmänner Irans“	2
3 Einführung der Schadensfaktoren, die den Erhaltungszustand von Objekten beeinflussen	4
3.1 Schadensfaktoren SF 9 und SF 10	5
3.1.1 Einführung in die Zusammenhänge von relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur.....	6
3.1.2 Empfohlene Klimawerte für verschiedene Materialgruppen.....	8
4 Von der Idee einer Vitrine, die für jede Materialgruppe geeignet ist.....	9
Was muss diese Vitrine können?	9
4.1 Das Glas	9
4.2 Das Gas	10
4.3 Die Feuchte.....	11
4.3.1 EBC 10.....	11
4.3.2 „Preservatec“ Mikroklimagerät	12
4.3.3 Die Getty-Befeuchtungseinheit	13
4.3.4 “CEM”, Flüssigkeitsdosiersysteme mit geregelter Verdampfung.....	15
4.3.5 Permapure Feuchtetauscher	16
4.3.6 Flemion™	16
4.3.7 Membran Be- und Entfeuchter in der Labortechnik	17
4.4 Die Kühlung.....	19
5 Bereits begonnene Tests/ Ausblick.....	20
6 Fazit.....	21

Einleitung

Im Rahmen eines Projektpraktikums in Iran befassten wir uns mit dem Thema „Präventive Konservierung“. Anhand des Beispiels der „Salzmänner Irans“ und der damit verbundenen Diskussionen, entstanden Ideen rund um die Konservierung eines Kompositobjektes in Form der menschlichen mumifizierten Bergleute aus dem Salzbergwerk in Cheherabad/Zanjān.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die, um die Salzmänner entstandenen Projekte kurz vorgestellt und weitergehend auf die Problematiken einer Konservierung in einer Museumsvitrine eingegangen. Welche Bedingungen müssen herrschen, um solch herausragende Funde dauerhaft vor dem Zerfall zu schützen, wie kann man sie herstellen? Welche Schwierigkeiten treten auf, wie können sie beseitigt werden?

Auf dem Weg zur vollklimatisierten Vitrine werden zum Erreichen der gewünschten relativen Luftfeuchte verschiedene Produkte verglichen. Diese Gegenüberstellung stellt den Hauptteil dar. Er führte zu Überlegungen zur Vereinfachung und Vergünstigung der teuer erscheinenden angebotenen Geräte. In dieser Arbeit wird ausschließlich die aktive Klimatisierung behandelt.

Diese Arbeit soll die Grundlage schaffen für eine spätere weiterführende Arbeit. Sie ist als Einführung in das Thema aktive Klimatisierung im Museumsbereich zu verstehen.

2 Das Projekt „Salzmänner Irans“

Das Projekt „Salzmänner Irans“, das durch Gerda-Henkel-Stiftung gefördert wird, baut auf das DFG unterstützte "Chehrabad Saltmummy & Saltmine Exploration Project" auf. Es beschäftigt sich vornehmlich mit der Präsentation der Salz mumien mit ihren zum Großteil organischen Materialien wie das Textil, das Leder und der Mumie selbst, aber auch Eisen in Form eines Messers, welches eine der Mumien bei sich trug. Zudem beschäftigt sich das Projekt mit der Präsentation der Beifunde. Zusätzlich soll ein dem aktuellen Forschungsstand entsprechendes Monitoring- und Konservierungskonzept erstellt werden. Projektpartner sind das Deutsche Bergbau-Museum Bochum, die Ruhr-Universität Bochum, das Römisch-Germanische Zentralmuseum in Mainz, das Archäologische Museum Frankfurt, das Naturhistorische Museum Wien, die Iran Cultural Heritage Organisation Zanjān, das Zolfaghari Museum Zanjān, das Nationalmuseum Teheran und das Research Center for Conservation of Cultural Relics (RCCCR Teheran)¹, die sich um die Textilfunde kümmern.² Die Projektleitung haben in Iran der Archäologe Abolfazl Aali und in Deutschland Prof. Dr. Thomas Stöllner.

Anbei folgt ein kurzer Abriss der Fundgeschichte. In den Jahren 1994, 2004 und 2005 wurden zunächst von Bergbauarbeitern beim Salzabbau, später von Archäologen durch Notgrabungen in dem Salzbergwerk Cheherabad bisher mindestens 6 Mumien oder Mumienteile entdeckt. Die ältesten konnten auf das 6.-4. Jh. v. Chr. (achämänidisch) und die jüngste auf das 4.- 6. Jh. n. Chr.(sasanidisch) datiert werden. Das heißt, es wurde hier mindestens 2500 Jahre Salz abgebaut.³ Es handelt sich um ein äußerst reines Steinsalz.

¹ Bei einer zweiten Reise im Februar 2019 wurde das mit den ansässigen Restauratoren vor Ort vereinbart. Ursprünglich sollten die Stoffe vom RGZM bearbeitet werden. Der vorläufige Ausstellungstermin für die Beifunde in Frankfurt lag zu nahe an der bevorstehenden Ausfuhr der Objekte.

² N. Bagherpour <https://lisa.gerda-henkel-stiftung.de/das_salzbergwerk_von_zanjan?nav_id=7366&language=de> (5.6.2019)

³ T. Stöllner <<https://www.ruhr-uni-bochum.de/archaeologie/forschung/projekte/zanjan.html.de>> (8.6.2019)



Abb. 1 Salzmumie 4 aus dem Salzbergwerk Cheherabad (© Foto: DBM/RUB, K. Stange)

Seit 2010 wird das Projekt vom DFG unterstützt und konnte einem internationalen Forschungsteam die systematische Erfassung des Gebiets und Analysen zur Datierung ermöglichen.

Mit der Zusammenarbeit mit der Gerda-Henkemann-Stiftung konnten weitere Analysen und das ausstehende Konservierungskonzept einschließlich der Maßnahmen am Museum in Zanjān zum Erhalt und der Präsentation verschiedener Funde gefördert werden. Salzmumie 4 (Abb.1) ist die prominenteste der bisher geborgenen Mumien. Es handelte sich um einen Sechzehnjährigen, der vermutlich aus Zentralasien stammte.⁴

2018 fand eine Tagung in Zanjān über die aktuellen Forschungsergebnisse von Wissenschaftlern verschiedener Forschungsbereiche. Hier konnte ich unterstützend im Rahmen des Projektpraktikums beiwohnen und mir so einen thematischen Überblick verschaffen, von der Geologie der Region über die Parasitologie bis zur Archäobotanik. Ab diesem Zeitpunkt wurde intensiv über die herrschenden Klimabedingungen und zukünftigen Maßnahmen zur präventiven Konservierung der bereits ausgestellten Exponate diskutiert. Die herrschenden Umstände waren für eine langfristige Erhaltung der Objekte nicht optimal.

Ein Datenlogger zeichnete relative Luftfeuchte, Temperatur und Taupunkt in den Räumen des Museums auf. Das daraus resultierende Diagramm (Abb.2) veranschaulicht deutlich die stetigen Klimaschwankungen, denen die Objekte ausgesetzt sind. Die höchste tägliche

⁴ T. Stöllner <<https://www.ruhr-uni-bochum.de/archaeologie/forschung/projekte/zanjan.html.de>> (6.6. 2019)

Schwankung während einer 14-Tage-Messung betrug 4°C und 18 % rH. Übers Jahr gesehen lag die Temperatur zwischen 10°C und 30°C, die Feuchte zwischen 15 % rH und 50% rH.⁵⁶

3 Einführung der Schadensfaktoren, die den Erhaltungszustand von Objekten beeinflussen

Das Canadian Conservation Institute (CCI) entwickelte schon 1990 ein Regelwerk zur Kulturerhaltung. Die Autoren des 2014 erschienen Leitfadens „Präventive Konservierung“ orientierten sich dabei an der Einteilung in 10 Schadensfaktoren (SF1-10) und brachten den aktuellen Forschungsstand (2014) mit ein⁷.

SF 1	Physikalische Kräfte	SF 6	Biologischer Befall
SF 2	Diebstahl und Vandalismus	SF 7	Schadstoffe
SF 3	Dissoziation	SF 8	Licht und Strahlung
SF 4	Feuer	SF 9	Temperatur
SF 5	Wasser	SF 10	Relative Luftfeuchte

Tabelle 1 Einteilung der Schadensfaktoren in SF 1 – SF 10 nach dem CCI

Sie helfen bei der systematischen Erstellung eines Gefährdungsprofils einer Sammlung oder eines bestimmten Objekts. Zum Erstellen dieses Profils steht an erster Stelle das „Vermeiden“ von Schadensfaktoren.⁷

⁵ Anm. Im Verlauf der Arbeit werden die empfohlenen Klima-Richtwerte erläutert.

⁶ Werte aus dem Diagramm der Power-Point-Präsentation von Dr. Natasha Bagherpour bei der Tagung zum Projekt in Zanjan 2018

⁷ C. Wenzel u.a, Präventive Konservierung, Ein Leitfaden, aus Icom Deutschland Beiträge zur Museumologie Band 5 (2014) S.25-26

Eine detailliertere Einteilung wird von der in der Schweiz ansässigen Firma Prevert propagiert (Abb.3). In dieser Darstellung wird das Objekt in seiner Verpackung oder Vitrine gezeigt, die sich in einem Raum befindet, der Raum ist Teil des Gebäudes und das Gebäude ist äußeren Umwelteinflüssen ausgesetzt (Erschütterung, Strahlung, Abgas). Viele Gefahren die auf das schützenswerte Kulturgut wirken oder wirken könnten, sind anschaulich dargestellt (Abb3).⁸

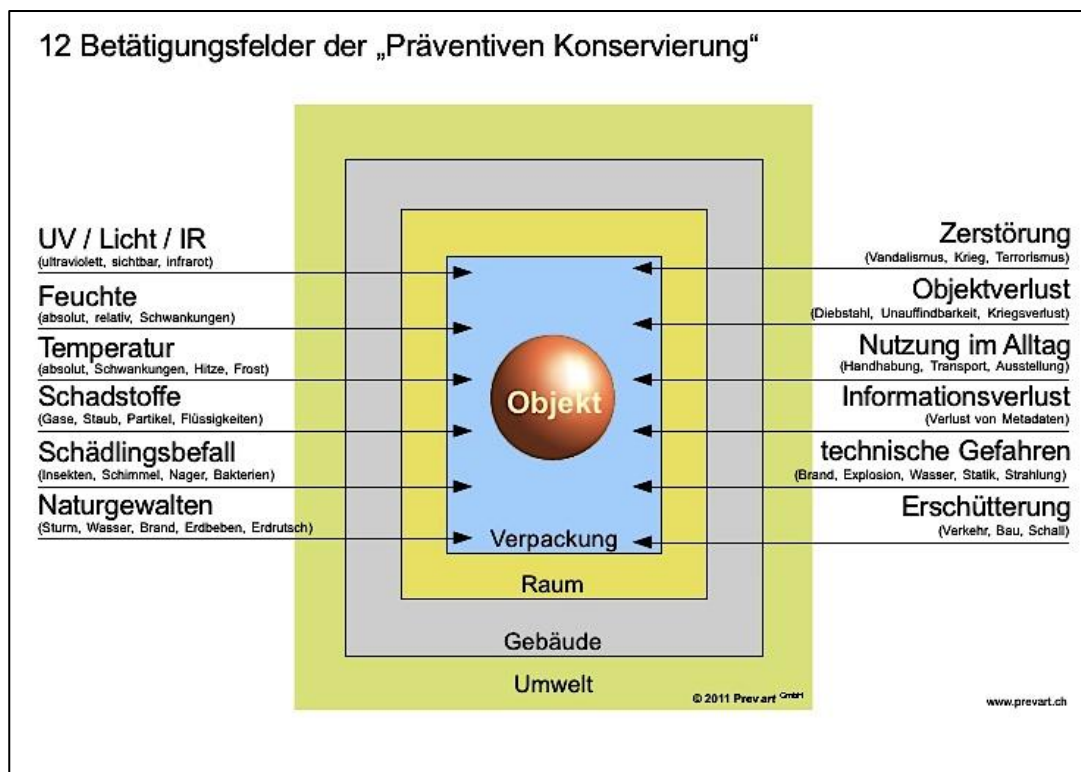


Abb. 2 Zwölf Betätigungsfelder der präventiven Konservierung

Quelle: <https://www.prevert.ch/download/category/7-diagramme#> (12.6.2014)

3.1 SCHADENSAKTOREN SF 9 UND SF 10

Für jeden Werkstoff wurde ein empfohlener Richtwert festgelegt, der für die langfristige Erhaltung des Objekts nach momentanem Forschungsstand am geeignetsten scheint.⁹ Eine ungeeignete relative Luftfeuchte und Temperatur verursacht physikalische, chemische und biologische Schädigungsprozesse, die dem Objekt zusetzen. Vor allem organische Materialien sind hygroskopisch und unterliegen einem regen Dampfaustausch mit der

⁸ K. von Lerber <<https://www.prevert.ch/download/category/7-diagramme#>> (12.6.2014)

⁹ C. Wenzel u.a, Präventive Konservierung, Ein Leitfaden, aus Icom Deutschland, Beiträge zur Museumologie Band 5 (2014) S.61

Umgebungsluft. Sie neigen zum Quellen und Schrumpfen. Durch ein schwankendes Klima werden Risse verursacht, der natürliche Alterungsprozess wird beschleunigt.¹⁰

3.1.1 Einführung in die Zusammenhänge von relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur
Trockene Luft kann sich mit Wasserdampf anreichern, man spricht nun von feuchter Luft. In der Regel gibt man die Wasserdampfmasse in g/kg Luft an. Bei einer bestimmten Temperatur kann Luft eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen. Ist diese Maximalmenge erreicht, spricht man von einer Sättigung. Die Wasserdampf - Aufnahmefähigkeit sinkt mit sinkender Temperatur. Von der Sättigung ausgehend spricht man bei der tatsächlichen Wasserdampfmasse in % relativer Luftfeuchtigkeit (rH = relative humidity) bei einer bestimmten Temperatur. Sinkt die Temperatur bei 100% rH, fällt Wasser an diesem „Taupunkt“ aus.¹¹ Das Molier-h/x-Diagramm¹² stellt die Zustandsgrößen atmosphärischer Luft dar und es lassen sich alle nötigen Werte daraus ableiten. Luftdruck-, Enthalpie- und Dichteänderungen sind an dieser Stelle für uns nicht von Belang. Wir gehen davon aus, dass 1 kg Luft etwa 1 m³ entspricht.

Beispiele:



T= 25 °C, rH= 60 %, Taupunkt= 16,5 °C → Es sind etwa 12,5 ml H₂O/ m³ in der Luft.

Senkt man die Temperatur um 5 °C, erhöht sich die rH auf etwa 80%.



T= 20 °C, rH= 40%, Taupunkt= 5,6 °C → Es sind etwa 6,0 ml H₂O/ m³ in der Luft

Erhöht man die Temperatur um 5 °C, sinkt die rH auf etwa 30%.

¹⁰ C. Wenzel u.a, *Präventive Konservierung, Ein Leitfaden, aus Icom Deutschland, Beiträge zur Museumologie Band 5* (2014) S.62

¹¹ G. S. Hilbert, *Sammlungsgut in Sicherheit*, 3. Auflage, (Berlin 2002): S. 130-132

¹² J. Huber, *Klimavorgaben für Kulturgüterdepots, ein vertretbarer Kompromiss*, (Winterthur 2017) S.12

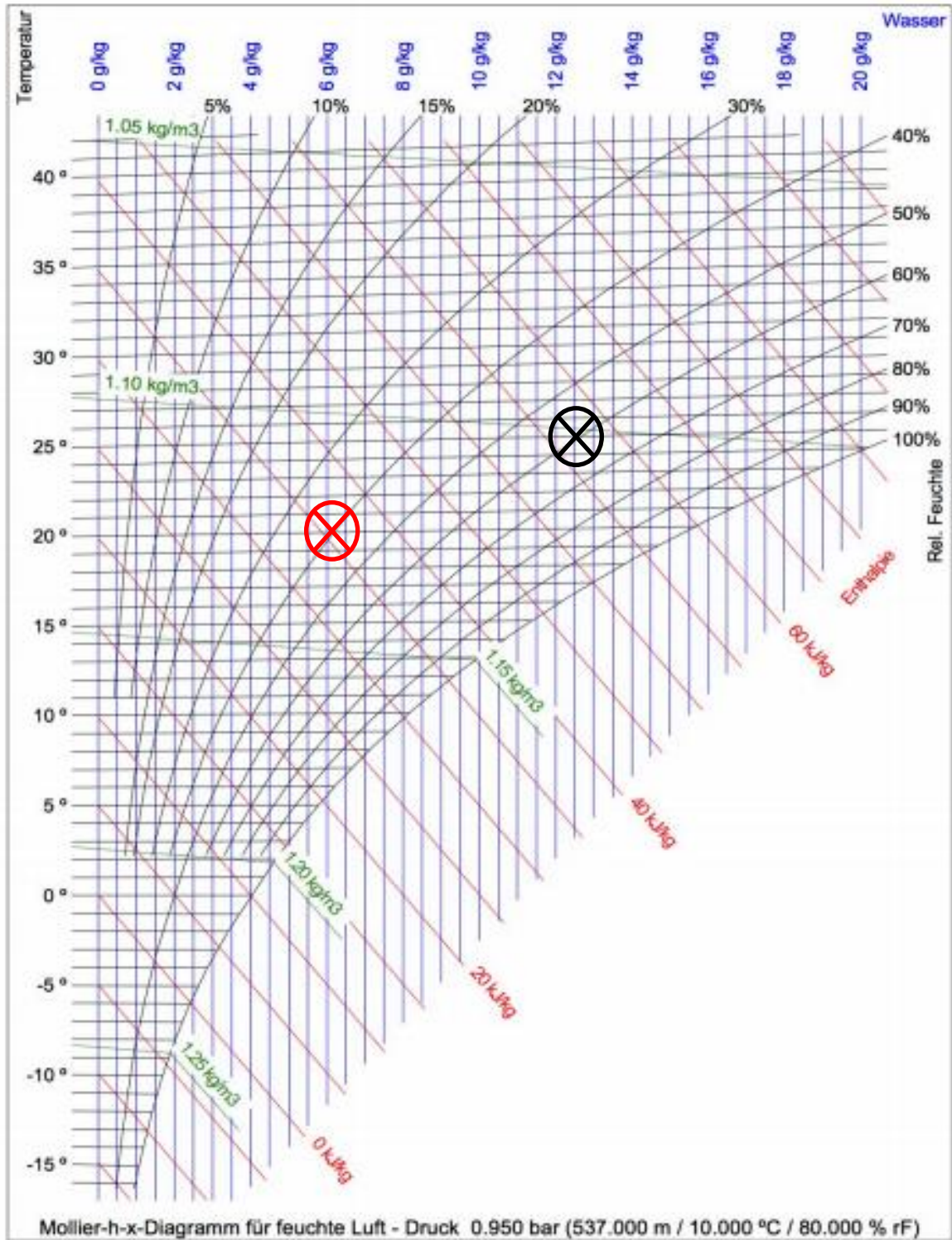


Abb. 3 Molliere- h/x-Diagramm mit 2 Beispielpunkten zur Veranschaulichung

Quelle: J. Huber

3.1.2 Empfohlene Klimawerte für verschiedene Materialgruppen

Unterschiedliche Materialien reagieren unterschiedlich empfindlich auf die klimatischen Verhältnisse. Grundsätzlich können sie in organische (Kohlenstoffverbindungen, auch Kunststoffe) und anorganische Materialien (Metalle, Mineralien, Korallen) unterteilt werden.¹³

Das nachfolgende Balkendiagramm (Abb.5) stellt die unterschiedlichen „Idealbedingungen“ bei einer Temperatur von 18 – 20°C dar.¹⁴

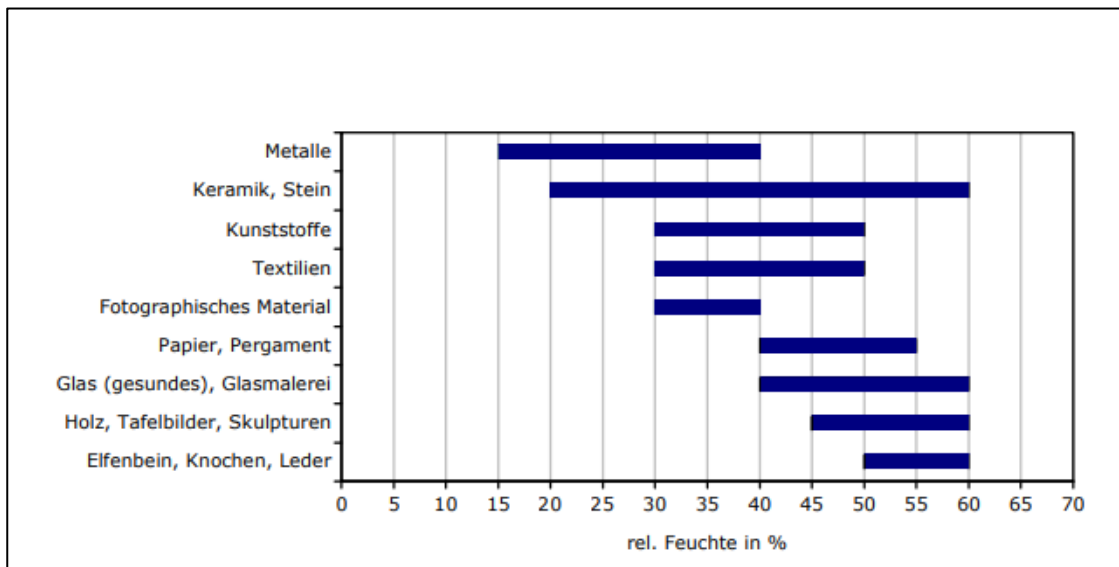


Abb. 4 Balkendiagramm zu Feuchtwerten für verschiedene Materialgruppen bei 18-20 °C

Quelle: <https://wissenschaftliche-sammlungen.de/files/8713/7095/9695/Museums-klima.pdf> (15.6.2019)

Bei der Festlegung von Klimabereichen für Kompositobjekte muss ein Kompromiss eingegangen werden. So wäre bei den bekleideten Salzmumien nach dieser Tabelle einen Wert von 50% rH festzulegen. Allerdings müssen auch die am Ausstellungsort und Fundort herrschenden Klimaverhältnisse berücksichtigt werden. Das Material kann sich an Verhältnisse „gewöhnen“, die außerhalb des empfohlenen Bereiches liegen. Die Höhe und die Häufigkeit von Schwankungen müssen möglichst klein gehalten werden.¹⁵

¹³ C. Wenzel u.a, Präventive Konservierung, Ein Leitfaden, aus Icom Deutschland, Beiträge zur Museumologie Band 5 (2014) S.71

¹⁴ R. Klee <<https://wissenschaftliche-sammlungen.de/files/8713/7095/9695/Museums-klima.pdf>> (15.6.2019)

¹⁵ Ebd. Tabelle 2

4 Von der Idee einer Vitrine, die für jede Materialgruppe geeignet ist

„Bei der aktiven Klimatisierung leiten wir gereinigte, befeuchtete Luft und/oder reinen Stickstoff in die Vitrine ein und/oder üben aktiven Einfluss auf die Temperatur in der Vitrine aus.“¹⁶

Es gibt verschiedene Hersteller die solche Vitrinen anbieten, allerdings fehlt es bei genauerer Betrachtung an einer optimierten Umsetzung. Solche Vitrinen wären nötig, wenn verschiedene Materialgruppen in einem Raum vereint sind, die unterschiedliche Klimabedingungen brauchen, oder der Leihgeber besondere Bedingungen vorgibt, die anders nicht herzustellen sind. Zudem sollte eine solche Vitrine bezahlbar sein. Um der Bildung von Feuchtenestern entgegenzuwirken und Schadstoffe herauszufiltern, stellen wir uns ein geschlossenes Umluftsystem vor, das die Vitrinenluft in stetiger Bewegung hält.

Was muss diese Vitrine können?

Neben der möglichen Flutung mit Inertgas müssen Temperatur und Gasfeuchte variabel einstellbar sein. Die angedachte Vitrine müsste Temperaturen in den Bereichen von 8° C und 20°C und eine relative Gasfeuchte zwischen etwa 15% (Metall) und 65% (Holz) stabil halten können. Eine nahezu sauerstofffreie Atmosphäre müsste darin umsetzbar sein.

4.1 DAS GLAS

Nahezu jede Vitrine ist mit einem Verbundsicherheitsglas ausgestattet, bei dem die Scheiben optional mit einer UV-absorbierenden Folie verklebt sind. Die Mindestdicke liegt laut Glasbau Hahn bei circa 12 mm. Alternativ gibt es vermehrt Vitrinen aus Acrylglas (Glasbau Frank).

¹⁶ <https://www.glasbau-hahn.de/vitrinen/vitrintechnik/reinluft-und-klimatechnik/klimatisierungssysteme/>

Meines Erachtens wäre diese Art der Verglasung nicht vereinbar mit dem Anspruch, eine Vollklimatisierung mit guter Energieeffizienz zu erreichen. Ein Beschlagen der Scheibe außen wäre bei entsprechendem Temperaturunterschied möglich¹⁷. Hier wäre die Verwendung von mit Inertgas gefüllten Isolierglasscheiben in VSG möglich. Sie sind in vielen Varianten erhältlich.

Nachteile:

- Mehrkosten (Angebote) Acryl 8mm = 96€/m², VSG 2x 6mm = 75€/m², Isolierglas 40mm = 200€/m²
- Durch die Dicke von etwa 40 mm ist das Vitrinendesign eingeschränkt. Die Glashauben müssten an den Kanten mit einem Randprofil verdeckt werden. Das beeinflusst die Rundumansicht und lenkt vom Objekt ab.

Ausblick:

- Entwicklung eines formschönen, praxisorientierten und kostengünstigen Designs für Isolierglasscheiben.

4.2 DAS GAS

In der Regel werden Stickstoffgeneratoren für eine Begasung von Vitrinen eingesetzt. Dies ist bei großen oder mehreren Vitrinen auch nötig. In diesem Modell wird auf Flaschengasflutung gesetzt. Dabei müssen die Vitrinen weitestgehend dicht sein.

Nachfolgend die Modellrechnungen an einer Vitrine, bei der der Gasverlust lediglich durch die Gaspermeation/-durchdringung¹⁸ an der Dichtung berücksichtigt ist.

Hierbei wird die Begasungsdauer durch Inertgas bei einer 20l-Flasche mit 200 bar und einem Vitrinenvolumen von 1 m³ simuliert. Dabei werden die Kosten der Gasfüllung pro Jahr durch die Haltbarkeit einer Gasflaschenfüllung ermittelt. Danach muss die Flasche ausgetauscht werden. Die Erstbefüllung des Vitrinenraums ist dabei berücksichtigt. Beim Anschließen der zweiten Flasche verlängert sich die Nutzungsdauer um 25%. Eine Flaschenfüllung beträgt 20 x 200 l, das entspricht 4000 l also 4m³. Die Gasflaschen werden mit etwa 3,8 m³ geliefert. Dabei sind Lieferkosten von 10 € pro Flasche berücksichtigt. Die Eranschaffung der Pfandflasche ist mit 165 € einmalig zusätzlich beziffert.

¹⁷ Vgl. 3.1.1

¹⁸ Vgl. Luftaustauschrate

Permeation/ Tag	Haltbarkeit	Kosten/ Jahr
0,01	300 (400) Tage	55,97€ (41, 98€)
0,05	60 (80) Tage	279,83€ (209, 88€)
0,1	30 (40) Tage	559,66€ (419, 75€)

Tabelle 2 Nutzungsdauer und Kostenübersicht bei verschiedenen Austauschraten und der Verwendung eines 20l-Inertgasdruckbehälter in Klammer ab dem 2. Jahr.

4.3 DIE FEUCHTE

Zur Konstanthaltung der relativen Luftfeuchte/Gasfeuchte (rH) gibt es eine Vielzahl an Geräten. Hier werden einige vorgestellt und ihre Wirkungsweisen verglichen.

4.3.1 EBC 10

Es handelt sich um ein Produkt der Firma miniClima Schönbauer GmbH¹⁹ aus der Wiener Neustadt. Sie sind mit ihrer EBC-Serie weltweit in Museen vertreten²⁰. Das EBC10 (Abb.6) wurde ausgewählt, weil es bis zu 3m³ bewältigen kann. Es benötigt einen Wassertank.



Abb. 5 Das EBC 10 miniClima von der Schönauer GmbH <http://www.miniclima.com/dt/assets/ebc-de.pdf>

Funktionsweise²¹:

Befeuchten: Aus einem Vorratsbehälter wird der ermittelte nötige Bedarf an dest. Wasser dem Umluftsystem zugeführt und das Wasser verdunstet einfach im Luftstrom.

Entfeuchten: Das Wasser kondensiert bzw. vereist in mit Peltierelement gekühlten Bereichen. Das Kondensat wird gesammelt und abgepumpt. Bei größeren Feuchtemengen taut sich das Gerät regelmäßig selbst ab.

¹⁹ Anm. Es wurde telefonischer und Email-Kontakt gepflegt.

²⁰ <http://www.miniclima.com/dt/weltweit.html>

²¹ <http://www.cwaller.de/deutsch.htm> (11.6.2019)

4.3.2 „Preservatec“ Mikroklimagerät

Die Gerätereihe (Abb7) ist modular aufgebaut und je nach Bedarf erweiterbar. Es gibt Modelle, die nur Befeuchten, nur Entfeuchten oder beides können. Grundlage dafür ist die Rosahl Membran (Abb.8). Es können Feuchtwerte von 20% bis 65% eingestellt werden bei einer Raumtemperatur von 0-40°C.²² Es handelt sich um ein wartungsfreies System.



Abb. 6 Preservatec Mikroklimagerät, Quelle: Preservatec.com

Funktionsweise:

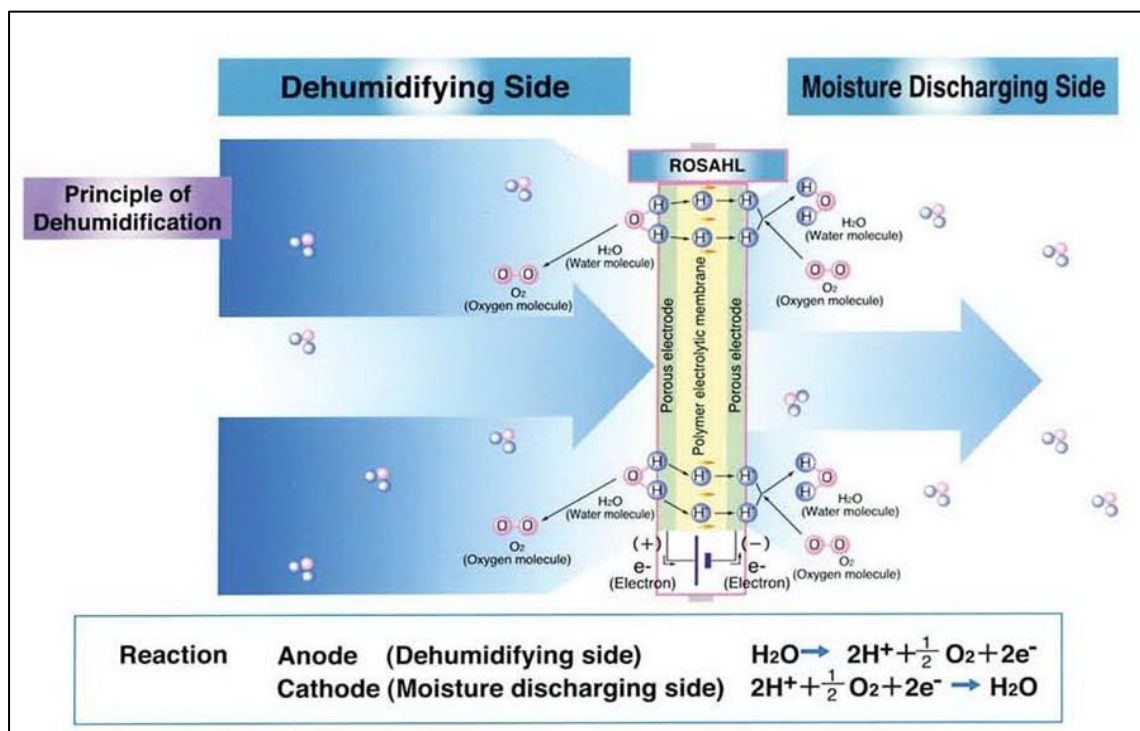


Abb. 7 Darstellung der Prozesse, die in der Rosahlmembran ablaufen

Quelle: <http://westside-int.com/rosahl/rosahlworks.htm>

Rosahl ist ein Luftbe- und -entfeuchter, der mit einer Festkörperpolymer-Ionenmembran (SPE)²³ arbeitet, um Gasen durch Elektrolyse Feuchtigkeit zu entziehen oder zuzuführen. Die SPE besteht aus einem protonenleitenden, festen Polymerelektrolyten und porösen Elektroden mit einer katalytischen Schicht aus Edelmetallpartikeln. Wenn an die an der SPE angebrachte poröse Elektrode eine Gleichspannung von 3 Volt angelegt wird, nimmt die Feuchtigkeit an der Anode ab. Seitlich (Entfeuchtungsseite) dissoziiert sie in Wasserstoffionen (H^+) und Sauerstoff. Die Wasserstoffionen wandern durch die Membran, um an

²² <http://www.preservatech.com/pmcg/> (14.6.2019)

²³ solid state polymer ionic membrane

der Kathodenseite entladen zu werden, wo sie mit Sauerstoff in der Luft reagieren, was zur Entstehung von Wasserdampf führt. In ähnlicher Weise wird ein Befeuchtungseffekt erzielt, wenn die Membran umgekehrt wird.²⁴

4.3.3 Die Getty-Befeuchtungseinheit

Obwohl dieses System nicht Entfeuchten kann, wird es zum Verständnis des Verfahrens herangezogen. Es kann, wenn nötig mit einer Umluft-Trockeneinrichtung kombiniert werden. Es wird bei der Begasung von größeren Objekten bei der Schädlingsbekämpfung angewendet.²⁵

Funktionsweise:

Der trockene Flaschenstickstoff wird auf zwei Leitungen verteilt, während die eine direkt zu einem Gasdurchflussregler (orange umrandet) läuft, taucht die andere in einen Behälter mit Wasser ein. Das Gas steigt auf und sättigt sich mit Wasserdampf. Es wird weiter in einen sogenannten Tröpfchenfänger geleitet. Hier wird vernebeltes Wasser, das durch die platzenden Bläschen entstanden ist, wieder abgeschieden. Das so wasserdampfgesättigte Gas wird ebenfalls an einen Durchflussregler geleitet. Beide Regler können nun so eingestellt werden, dass die beiden Gase den gewünschten rH-Wert erreichen, der nun weiter in die Vitrine geleitet wird (Abb.9).

Bei dem Getty-System handelt es sich um ein modifiziertes klassisches Bubbler-System.

²⁴ <https://www.micro-dehumidifier.com/rosahl/how-does-rosahl-work-3/> (14.6.2019)

²⁵ E. Schlegel, U, Kannegiesser, *Technologische Studien KHW, Sonderband Präventive Konservierung 7/2010, S.50*

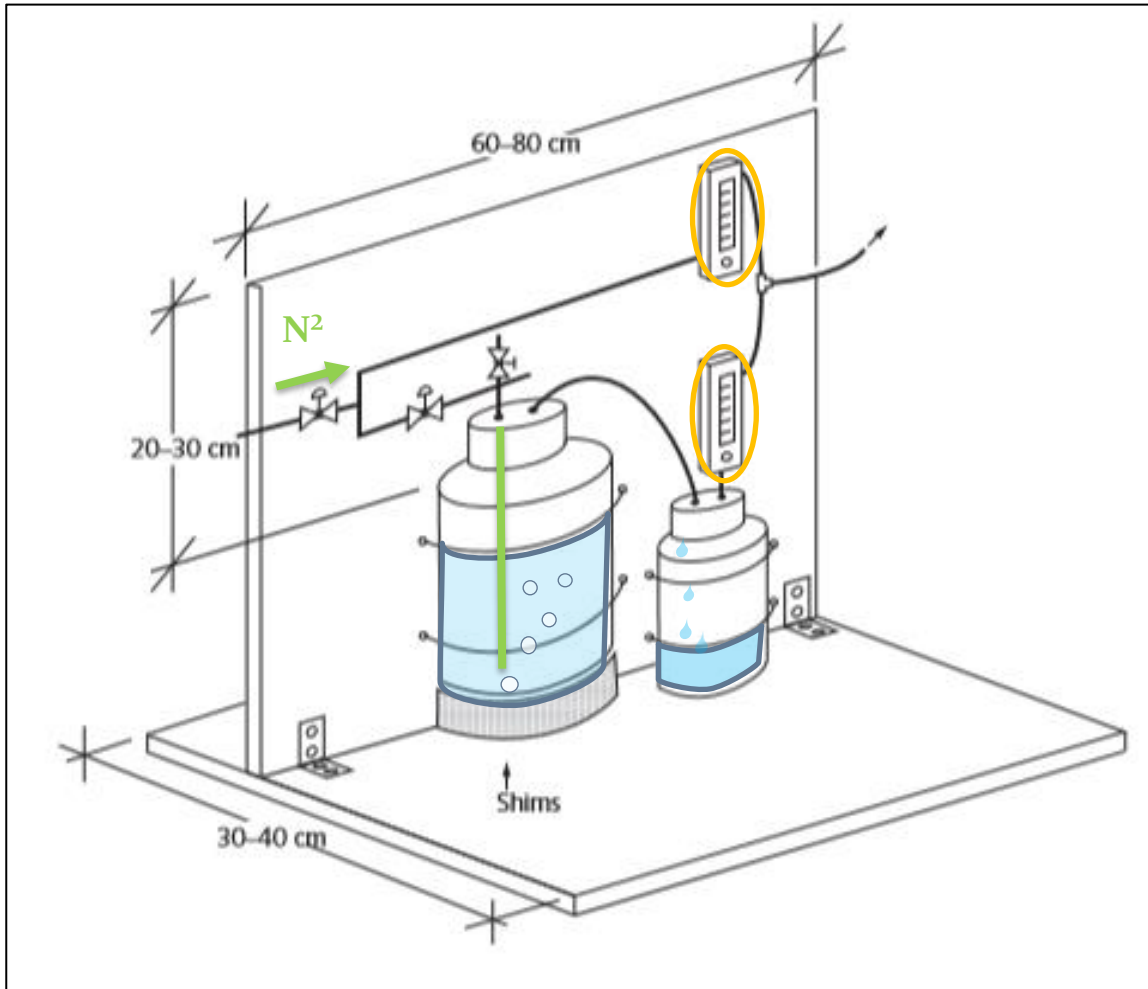


Abb.9 Das Getty-System mit farblichen Abhebungen

Quelle: S. Maekawa, *The Use of Oxygen-Free Environments, in the Control of Museum Insect Pests* (L.A. 2003) S. 130



Abb. 10 Zwei Beispiele zur Befeuchtung aus der Praxis

Quelle: KHW

4.3.4 "CEM", Flüssigkeitsdosiersysteme mit geregelter Verdampfung

Control-Evaporation-Mixing (Abb.11) nennt Bronkhorst (Niederlande) sein patentiertes System. Es wurde für Industrie und Labor entwickelt. Wasser wird aus einem Behälter mittels Membranpumpe abgezogen und mittels Massedurchflussmesser dosiert. Es wird von anderer Seite mit dem Trägergas zusammengeführt und über ein Mischventil in den Verdampfer geführt.²⁶ Von dort aus wird das Gas mit der exakten rH in die Vitrine geführt.

Auch hier müsste, wenn nötig mit einer Umluft-Trockeneinrichtung kombiniert werden.

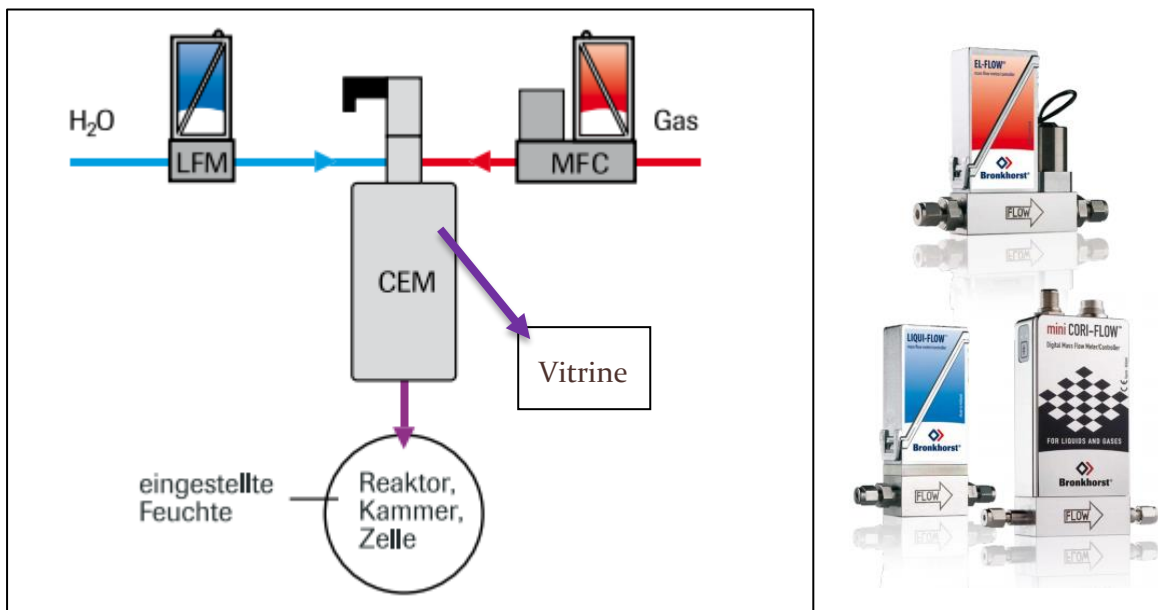


Abb. 8 Chema einer Befeuchtung mit CEM Dosiersystem, daneben die Originalbauteile
Quelle: Bronkhorst.de (8.6.2019)

Es handelt sich um ein sehr energieeffizientes System von höchster Genauigkeit. Diese ist allerdings auch mit entsprechender Steuerung mit der Gettyversion erreichbar. Rein optisch ist es für mich interessanter, es sieht nicht nach einer Eigenbaulösung aus.

²⁶ <https://www.bronkhorst.com/getmedia/4993a357-7bc9-4547-b245-fe4f84357a0a/CEM-961038> (9.6.2019)

4.3.5 Permapure Feuchtetauscher

Hierbei handelt es sich um ein für die Medizin und den chemischen Bereich entwickeltes Produkt der Fa. Permapure²⁷. Hier gibt es verschiedene Ansätze, von denen einer näher betrachtet wird. Grundlage des Austauschs bietet die Nafion^{®28} Membran. Neben zahlreichen anderen Einsatzgebieten ist sie für die Trocknung oder Befeuchtung von Gasen aufgrund seiner hohen Selektivität und Permeabilität für Wasserdampf hervorragend geeignet.²⁹

Das Gas bezieht die Feuchtigkeit durch die Membran ausschließlich aus der Umgebungsluft. Bei der Trocknung gibt sie die Feuchte an die Umgebung ab. Das Trägergas selbst wird durch die Materialeigenschaften des Nafion in der Röhre gehalten. Der Austausch benötigt nur Bruchteile von Sekunden (max. 200 ms). Es kann den Wert bei Raumtemperatur auf max 10% rH senken, bei einer Gasdurchflussmenge von bis zu 2l/min.³⁰

4.3.6 Flemion™

Ähnlich einfach wie Nafion. Hier handelt es sich um eine aus fluorhaltigem Harz hergestelltes Produkt. Die Hohlfasern entfeuchten, indem sie ausschließlich Feuchtigkeit durchströmen lassen und das Gas im Inneren verbleibt. Dieses System (Abb.12) benötigt einen Unterschied der außerhalb liegenden zur inneren Luftfeuchtigkeit, um effizient zu arbeiten. Es wird hauptsächlich zur Trocknung verwendet.³¹

²⁷ <http://permapure.de/produkte/messgastrockner/feuchtetauscher-me-serie/> (11.6.2019)

²⁸ ist ein Sulfonsäure-Tetrafluorethylen-Polymer (PTFE)

²⁹ <https://www.chemie.de/lexikon/Nafion.htm> (12.6.2019)

³⁰ <http://permapure.de/produkte/messgastrockner/feuchtetauscher-me-serie/>

³¹ https://www.alibaba.com/product-detail/-861-Membrane-gas-dryer-sunsep_167791448.html (17.6.2019)

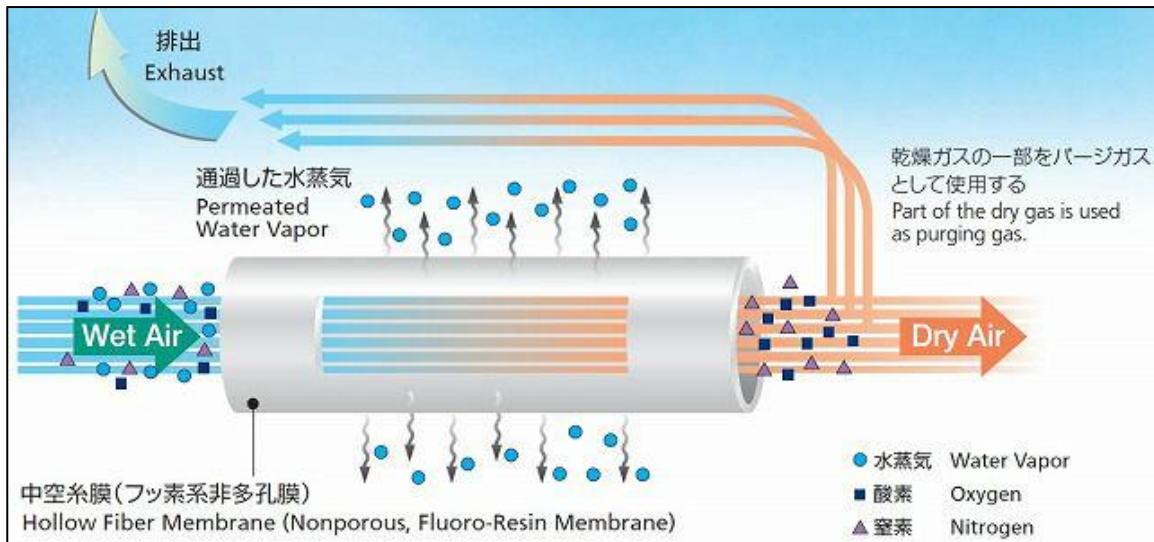


Abb. 9 Flemion Gastrockner

Quelle: https://www.alibaba.com/product-detail/-861-Membrane-gas-dryer-sun-sep_167791448.html (17.6.2019)

4.3.7 Membran Be- und Entfeuchter in der Labortechnik³²

Hier möchte ich auf eine entdeckte Abbildung hinweisen. Nähere Materialinformationen wurden nicht beschrieben. Der Feuchtebereich läge zwischen 10% und 100%.³³

³² Dr. R. Wernecke, *Industrial Moisture and Humidity Measurement*, (Potsdam 2014)

³³ Dr. R. Wernecke <<https://www.dr-wernecke.de/download/fachartikel-buch-feuchtemesstechnik/dwf-fach-25-feuchtekabrierung/>> (12.6.2019)

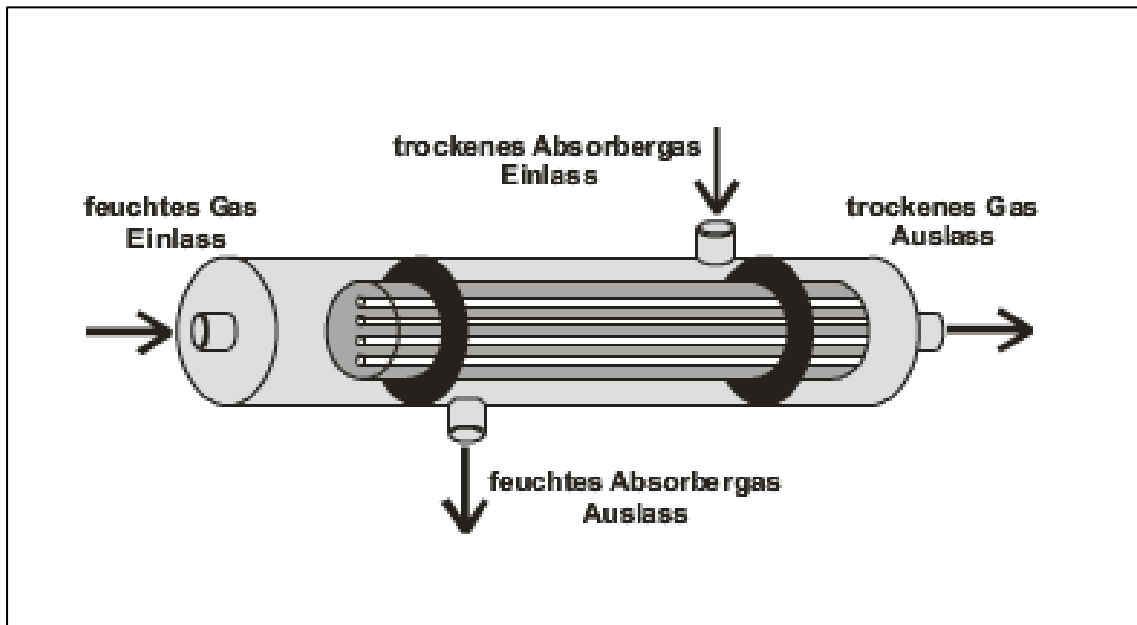


Abb. 10 Schema einer Membran zum Befeuchten und Trocknen von Gasen
Quelle: Dr. R. Wernecke

4.4 DIE KÜHLUNG

Für eine Kühlung gibt es hier zwei Ansätze, die verfolgt werden. Ein Kühlkreislauf der im Vitrinenboden bzw. der Seite verläuft oder bei dem das Gas des Vitrineninnenraums mittels Umluft in zwischengeschalteten Gaskühlern in die Vitrine rückgeführt wird. Die Temperatur wird mittels mehrerer Sensoren ermittelt und das Gerät bei Bedarf eingeschaltet.

Bisher habe ich keine vernünftige Standardlösung gefunden, die für Museumsvitrinen angeboten wird. Nach einem Gespräch mit einem Kälte- und Klimatechnik-Ingenieur sprach er von einem zwar realisierbaren Varianten, aber ob dabei die Temperatur gleichmäßig im Raum verteilt wäre, sei unwahrscheinlich. Er schlug Kühlsysteme wie sie bei Fleisch- oder Eistheken verwendet werden, vor.

Durch einen Kontakt zu einer Bestatterin lag meine Präferenz eher bei einem Plugin-Kühlsystem für die Heimaufbahrung der Fa. Nangeroni³⁴ (Kühlkreislauf).

Allerdings würde bei der angedachten Vitrine die Vitrinenluft ohnehin umgewälzt und man könnte ein Durchlaufkühlsystem³⁵ integrieren.

Nachteile:

- Mehrkosten
- Durch die °C/ rH-Abhängigkeit ist eine Regelung die beide Werte stabil hält nötig
- Lautstärke des Kühlgeräts

Ausblick:

- Bau einer Testvitrine zur Untersuchung des Kühlverhaltens und der umsetzbaren Einflussnahme
- Vergleich verschiedener Kühlgeräte

³⁴ <https://www.nangeroni.ch/kopie-von-kuehlgeraet> (10.6.2019)

³⁵ Entsprechend einem Trockenbierkühler

5 Bereits begonnene Tests/ Ausblick

Für die technische Durchführung und als Diskussionspartner steht dankenswerter Weise Ralf Neymeyer zur Verfügung.

- Bau eines Kombigeräts. Datenlogger für Temperatur und Feuchte inklusive eines Steuermoduls für die Regelung der Feuchte des Gasstroms, der in die Vitrine geleitet wird. Es handelt sich um eine sehr einfache kostengünstige Variante aus Standardbauteilen. Es ist WLAN-tauglich und wird mit Alarmfunktion versehen. Dieser Datenlogger werden geeignet sein, das Klima in mehreren Depotkartons gleichzeitig aufzuzeichnen, um sich einen langfristigen Überblick des herrschenden Klimas zu verschaffen.
- Reduzieren der Klimaschwankungen im Vitrininnen durch zusätzliche, außen angebrachte Sensoren. Ändert sich das Klima außerhalb wird es sich mit Verzögerung auch innerhalb verändern. Präventiv können die Schwankungen durch frühzeitige Anpassung an die Umgebungsparameter reduziert werden.
- Bau einer Testvitrine, die nach und nach aufgerüstet werden kann. Der Mechanismus zum Öffnen besteht aus Standard-Schwerlastschubladenschienen und lässt eine einfache Handhabe zu.
- Umsetzung einer Hybridversion zur Be- und Entfeuchtung des Gasstromes mit Hilfe von verschiedenen Silicagelpatronen. In diesem Zusammenhang wird an einer automatischen Rekonditionierung des Gels in der Patrone gearbeitet. So wären die Austauschintervalle um ein vielfaches verlängerbar.
- Zu überprüfen wäre, ob bei den Mumien Konservierungsmethoden, die bei der Tieranatomie gang und gäbe sind, zur Verwendung kommen könnten.³⁶ Hierbei wäre darauf zu achten, dass es sich möglichst um vollständig reversible Verfahren handelt oder um eine Variante, die keine relevanten Informationen, die das Objekt liefern kann, zerstört.

³⁶ Yvonne Oehme, *Konservierungsmethoden in der Tieranatomie, - Eine Literaturstudie -* (München 2016)

6 Fazit

Müssen die Klimatisierungsmethoden wirklich so extrem technisiert werden? Eine passive Klimatisierung ist nicht von Nachteil für das Objekt. Meines Erachtens wäre der richtige Weg eine Hybridisierung, ohne allzu viele Bauteile. Eine teilaktive Klimatisierungsoption für Museumsvitrinen.

Es stellt sich auch die Frage nach welcher Philosophie man Konservierung tatsächlich handhaben möchte. Bewährtes leicht modifizieren oder neue technologische Wege gehen, die das Risiko in sich bergen, dem Objekt mehr zu schaden als zu helfen. Ich selbst bin sehr technikaffin, aber würde nur einem System zustimmen, das wartungsarm, von jedem nach kurzer Einlernphase bedient werden kann und bei dem defekte Bauteile schnell ausgetauscht werden können.

Abb. 1 Salzmumie 4 aus dem Salzbergwerk Cheherabad (© Foto: DBM/RUB, K. Stange) ...	3
Abb. 2 Ausschnitt der Datenaufzeichnung über einen Zeitraum von 14 Tagen im Mai 2016 Quelle: Dr. Natasha Bagerphour	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abb. 3 Zwölf Betätigungsfelder der präventiven Konservierung	5
Abb. 4 Moliere- h/x-Diagramm mit 2 Beispielpunkten zur Veranschaulichung	7
Abb. 5 Balkendiagramm zu Feuchtwerten für verschiedene Materialgruppen bei 18-20 °C	8
Abb. 6 Das EBC 10 miniClima von der Schönauer GmbH http://www.miniclima.com/dt/assets/ebc-de.pdf	11
Abb. 7 Preservatec Mikroklimagerät, Quelle: Preservatec.com.....	12
Abb. 8 Darstellung der Prozesse, die in der Rosahlmembran ablaufen Quelle: http://westside-int.com/rosahl/rosahlworks.htm	12
Abb. 9 Chema einer Befeuchtung mit CEM Dosiersystem, daneben die Originalbauteile Quelle: Bronkhorst.de (8.6.2019)	15
Abb. 10 Flemion Gastrockner Quelle: https://www.alibaba.com/product-detail/-861-Membrane-gas-dryer-sunsep_167791448.html (17.6.2019)	17
Abb. 11 Schema einer Membran zum Befeuchten und Trocknen von Gasen Quelle: Dr. R. Wernecke.....	18