

Schädliches Mikroklima in Vitrinen?

Johanna Leißner

Auch wenn Kunst- und Kulturobjekte in Museen, Bibliotheken oder historischen Gebäuden aufbewahrt werden, können Schäden entstehen. Die Ursache dafür kann unter anderem in aggressiven Luftinhaltsstoffen wie Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffdioxid (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen liegen. Diese können von außen hereingetragen werden, aus Bau- und Dekorationsmaterialien ausdünsten oder durch die Anwesenheit von Besuchern entstehen. Die Überprüfung der Umweltbedingungen in den Museen ist bis heute keine Routinemethode. Der Hauptgrund dafür ist die aufwendige Meßtechnik, die kostenintensiv ist und ein spezielles Know-how erfordert. Deshalb war das Ziel des hier beschriebenen Projekts, die Glassensor-Methode weiterzuentwickeln, um sie auch in Innenräumen einsetzen zu können.

Essentielle Grundlage für diese Arbeiten war eine quantitative und qualitative Erfassung verschiedenster Umweltbedingungen in Nord-, Süd- und Mitteleuropa, jeweils im Vergleich Außenklima zu Innenklima von Museen und als Sondersituation das Mikroklima von Vitrinen. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind eine Zusammenfassung eines dreijährigen Forschungsprojektes, gefördert durch die Europäische Gemeinschaft, welches das Institut für Silicatforschung (ISC) in Kooperation mit dem Victoria & Albert Museum, London, und dem Klostermuseum Batalha, Portugal, durchgeführt hat.

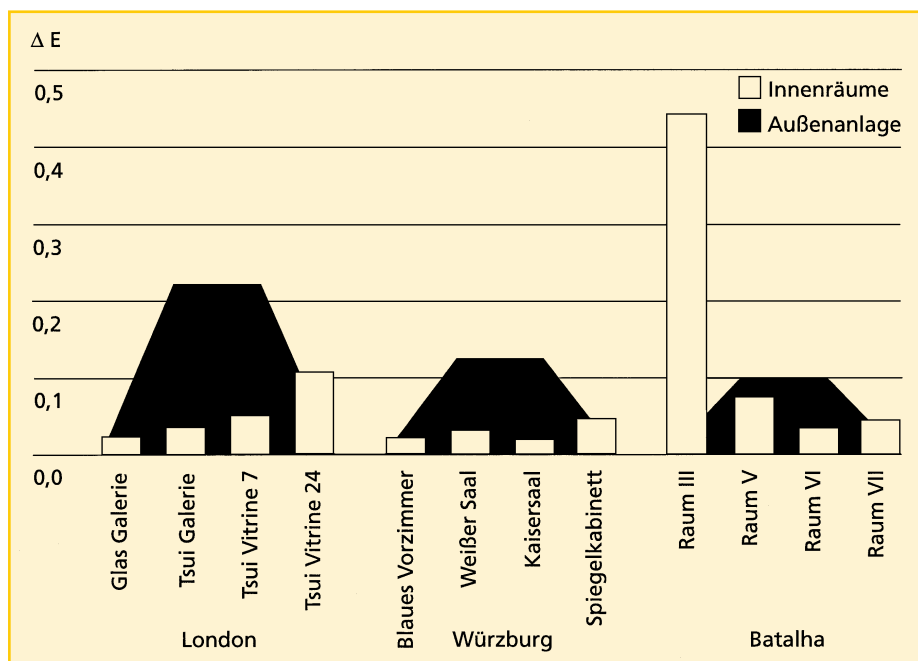


Tabelle 1

Die Untersuchungen wurden an den Standorten der Partner in Nord-, Mittel- und Südeuropa durchgeführt, um ein komplementäres Bild der Belastungsverteilung innerhalb Europas zu bekommen. Kontinuierliche Messungen von Schwefeldioxid, Stickstoffoxid, Formaldehyd, Essigsäure sowie der flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs = volatile organic compounds) in Kombination mit Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen wurden unternommen.

Um die Glassensor-Technik für Innenräume anpassen zu können, war es nötig, qualitative und quantitative Untersuchungen der Klimasituation von Innenräumen vorzunehmen. Die Untersuchungen wurden auf die wichtigsten Schadgase wie anorganische Schadstoffe SO_2 und NO_2 beschränkt, die mittels Passivsammlern durch Ionenchromatographie und Kalorimetrie bestimmt wurden. Formaldehyd und Acetaldehyd wurden auch mittels eines Passivsammlers durch HPLC (High Performance Liquid Chromato-

graphy) bestimmt. Essigsäure und VOCs wurden mit GC/MS (Gaschromatographie/Massenspektrometrie) quantifiziert. Ein Datenlogger zeichnete Temperatur und Feuchte auf. Diese Ergebnisse wurden im Victoria & Albert Museum, London, ausgewertet.

Unterschiedlich korrosiv

Die untersuchten Innenräume besitzen tatsächlich eine unterschiedliche Korrosivität. Die geringsten Innenraumbelastungen traten in der Würzburger Residenz auf, obwohl auch hier die vier Räume unterschiedlich zu bewerten sind (Tabelle 1). Die kleinsten ΔE -Werte wurden stets im Blauen Vorzimmer gefunden (0,02 bis 0,03); dieses Zimmer steht nicht auf dem normalen Besichtigungsprogramm der

Standort	Beschreibung	SO ₂	NO ₂	Formaldehyd	Essigsäure	TVOC	ΔE-Wert
Veste Coburg Wandvitrine	Glas, Metallrahmen, Rückwand	0,7	0	36	+	120	0,035*
Veste Coburg Freie Vitrine	Glas, Metallrahmen, ohne Rückwand	0,7	0,5	20	Spuren	70	0,006*
Veste Coburg Holzvitrine	alte lackierte Holzvitrine	0,7	3,3	56	Spuren	80	0,12*
Veste Coburg Glasdepot	Holz und Sperrholz	0,7	1,6	70	Spuren	40	0,065*
Dresden Serpentinenvitrine	Holzfaserverplatte	7,5	0,3	930	+	123	0,22**
Dresden Großmogulvitrine	Holzfaserverplatte	10,5	2,4	450	++	76	0,39**
Dresden Panzerschrank	Metall	6,9	0,3	2	+	520	0,27**
Dresden Mittelvitrine	Metall und Glas	4,1	9,7	10	Spuren	48	0,01**

Perioden: * 3/93 bis 9/93; ** 3/94 bis 6/94

Tabelle 2

Besucher. Dagegen ist das Spiegelkabinett das bedeutendste und demnach auch das am meisten besuchte Zimmer in der Würzburger Residenz. Die hier gefundenen Glassensor-Werte waren mit 0,05 bis 0,06 die höchsten. Das Spiegelkabinett wurde im Zweiten Weltkrieg total zerstört und konnte erst 1987 nach siebenjähriger Restaurierung wiedereröffnet werden. Es verwundert also nicht, daß in diesem Raum hohe VOC-Gehalte gefunden wurden, die wahrscheinlich aus den Bau- und Dekorationsmaterialien ausdünsten. Die Gehalte an flüchtigen organischen Verbindungen lagen mit 1177 µg/cm³ deutlich höher als im Blauen Vorzimmer mit 137 µg/cm³. Welche Rolle und welchen Einfluß die flüchtigen organischen Verbindungen auf die Schädigung von Kulturgut haben, ist noch nicht detailliert untersucht. Auch welche Rolle sie für den Korrosionsprozeß im Glassensor spielen, kann nur vermutet werden. Ein Vergleich der ΔE-Werte im Spiegelkabinett, einmal im Sommer und einmal im Winter gemessen, belegt, daß der höhere Sommer-Glassensor-Wert auch mit einer höheren Konzentration an VOC einhergeht. Höhere Temperaturen verursachen ein stärkeres Ausdünsten von VOCs und zeigen auch im Glassensor einen höheren Korrosionswert.

In den untersuchten Innenräumen in Batalha waren die Glassensor-Wer-

te durchschnittlich höher als in Würzburg und London. Besonders auffallend ist der extrem hohe Wert, der stets in Raum III (ehemalige Sakristei) gefunden wurde – er ist fünfmal so hoch wie der Außenwert vom Dach des Klosters und auch höher als der Außenwert von London, das eine stark belastete Außenluft hat.

Schadgaskonzentrations- sowie Temperatur- und Feuchtemessungen haben keine Hinweise für diesen hohen Wert erbracht. Im Gegenteil: Gerade im Raum III wurden die niedrigsten Schadgaskonzentrationen der untersuchten Innenräume gefunden. Lange Zeit wurde nach einer Erklärung für diesen Befund gesucht, erst eine Untersuchung der Glasoberfläche durch einen Mikrobiologen ergab des Rätsels Lösung: Die Glasoberfläche war mit Mikroorganismen besiedelt. Die Mikroorganismen, hauptsächlich Pilze und Bakterien, produzieren organische Säuren (vor allem Oxalsäure), die eine verstärkte Glaskorrosion induzieren.

Mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie konnten auf den Glasoberflächen Aragonit- und Calcitkorrosionskrusten (Modifikationen des Calciumcarbonats) festgestellt werden. Aragonit wird nur von belebter Materie gebildet. In Anbetracht der Tatsache, daß die in der Sakristei aufbewahrten Ölgemälde und Seidenstoffe einen weitaus günstigeren Nährboden für Pilze und Bakterien bilden als das Glas, läßt sich der Schaden ermessen, den die Kunstgegenstände dort erleiden.

Mangelhafter Schutz

Hohe Gefährdungspotentiale konnten auch bei den Untersuchungen der Binnenklimata in Vitrinen festgestellt werden (Tabelle 2). Normalerweise sollten kostbare Ausstellungstücke durch die Vitrinen geschützt werden, doch sowohl in London als auch in Coburg und Dresden erwiesen sich diese Vorsichtsmaßnahmen manchmal als sehr mangelhaft. Die kostbaren Goldemail-Preziosen des augustäischen Barocks im grünen Gewölbe in Dresden sind bereits so stark geschädigt, daß man dies mit bloßem Auge erkennen kann. Ursache dafür ist unter anderem das aggressive Mikroklima, das in einigen Vitrinen und sogar im Panzerschrank vorherrscht. Der Schadstoffgehalt lag in diesen Vitrinen deutlich höher als in der umgebenden Raumluft. Die Schadstoffe werden vornehmlich aus den für den Vitrinenbau verwendeten Konstruktionsmaterialien (Preßspanplatten) ausgedünstet. Mittlerweile wurden diese Materialien gegen Glas und Metall ausgetauscht, um einen weiteren Zerfall der Goldemails zu verlangsamen.

Frühwarnsystem bewährt

Innerhalb dieses EG-Projektes war es möglich, die Glassensor-Methode für die Erfassung von Umweltbelastungen in Innenräumen anzupassen. Der Glassensor gibt Informationen über die Gesamtkorrosivität der untersuchten Umweltbedingungen. Diese Ergebnisse sind auf eine große Anzahl von Materialien anwendbar (Glas, Emails, Metalle, Leder, Fotopapier usw.). Ein sehr wichtiges Resultat war das Ergebnis von Batalha (Sakristei): Ob-

wohl die Schadgaskonzentrationen sehr gering waren, konnte der Glassensor ein hohes Risikopotential durch die Besiedelung von Mikroorganismen aufspüren. Normale Umweltmessungen hätten ein sehr gutes Mikroklima ergeben, ohne die Gefahr von Schädigungen durch Mikroorganismen zu erkennen. Für den Einsatz als Frühwarnsystem in der vorbeugenden Konservierung hat sich die Glassensor-Methode einmal mehr bewährt. □

Literatur:

- Baer, N. S. and Banks, P. N.: Indoor air pollution: Effects on cultural and historic materials, *The International Journal of Museum Management and Curatorship* 4 (1985), S. 9–20
- Appelbaum, B.: *Guide to Environmental Protection of Collections*, Sound View Press, Madison, Connecticut, USA 1991
- Thomson, G.: *The Museum Environment*, Butterworths, London 1978
- Martin, G. and Blades, N.: Cultural property environmental monitoring, IIC preprints of the contributions to the IIC Ottawa Congress, September 1994; *Preventive Conservation Practice, Theory and Research* (Eds: A. Roy and P. Smith) IIC, London (1994), S. 159–163
- Leissner, J., Beuschlein, S., Pilz, M., Martin, G., Blades, N., and Redol, P.: Assessment and monitoring the environment of cultural property, EC Final Project Report, 1996; CEC Contract EV5V CT92-0144 „AMECP“
- VDI-Richtlinie 3955, Blatt 2: Bestimmung der korrosiven Wirkung komplexer Umgebungsbedingungen auf Werkstoff, *Exposition von Glassensoren*, VDI Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1, Beuth Verlag, Berlin 1993
- Fuchs, D. R. und Leißner, J.: Glassensoren erfassen das Schadensrisiko an Kunstobjekten, *Restaurio – Zeitschrift für Kunsttechniken, Restaurierung und Museumsfragen* 3 (1995), S. 170–173
- Leissner, J. and Fuchs, D. R.: Investigations by glass sensors on the corrosive environmental conditions at stained glass windows with protective glazings in Europe, *Materials Issues in Art and Archaeology III* (Eds. P. B. Vandiver, J. Druzik, G. S. Wheeler and I. Freestone), *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 267 (1992), S. 1031–1038
- Fuchs, D. R., Römich, H., Tur, P. und Leißner J.: Konservierung historischer Glasfenster – Internationale Untersuchungen neuer Methoden, *Forschungsbericht 108 07 005/03 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Umweltbundesamt, März 1991*

Das Glassensor-Prinzip

Das Glassensor-Prinzip beruht auf der Wechselwirkung der Glasoberfläche eines Kali-Kalk-Silicatglases mit seiner Umgebung. Diese Reaktion verursacht eine Veränderung (Korrosion) an der Glasoberfläche:

- Auslaugung der Kalium- und Calciumionen durch Wasser und Hydroxidionen,
- Bildung einer siliciumreichen Gelschicht und
- Bildung einer Korrosionskruste.

Der Grad und die Geschwindigkeit dieser Veränderungen hängen von der Gesamtbelastung während ihrer Expositionszeit ab, die Gläser integrieren alle korrosiven Umwelteinflüsse und ihre Synergien. Diese Veränderung kann quantitativ mit der Infrarot (IR)-Spektroskopie erfaßt werden. Die Glassensoren werden vor und nach der natürlichen Bewitterung gemessen (Differenz der OH-Absorptionsbande bei 3300 cm^{-1} ergibt den ΔE -Wert). Die beiden Hauptkorrosionsmechanismen (Gelschicht- und Korrosionskrustenbildung) führen zu einem Anwachsen der OH-Absorptionsbande im IR-Spektrum bei 3300 cm^{-1} . Da die starken Valenzschwingungsbanden an Silicatgläsern zwischen 3300 und 3800 cm^{-1} zu einer Totalabsorption der IR-Strahlung führen, müssen die Gläser als sehr dünne Scheibchen präpariert werden (0,7 mm Dicke), um Transmissionsspektren aufnehmen zu können. Je höher der Anstieg der OH-Absorptionsbande während der Bewitterungszeit, desto höher ist die korrosive Belastung an dieser Stelle.

Die Korrosionsempfindlichkeit des Kali-Kalk-Silicatglassystems hängt im wesentlichen vom Gehalt an Kalium und Calcium ab. Ausgangspunkt für die Untersuchungen waren korrosionsempfindliches und kaliumreicheres Glas.

Für die Herstellung des Glassensors wird ein Glasblock aus den reinen Oxiden von Silicium, Kalium und Calcium geschmolzen. Anschließend wird dieser Glasblock mit einer automatischen Säge mit einem Diamantsägeblatt in 0,7 mm dünne Scheibchen geschnitten. Diese werden anschließend in einem Gasofen behandelt, so daß eine feuerpolierte Oberfläche entsteht. Eine höhere Sensitivität kann durch eine größere Oberfläche erzielt werden. Um dies zu erreichen, wurde auf die Feuerpolitur verzichtet. In ersten Bewitterungstests mit variierender Temperatur und Feuchtigkeit konnte eine drei bis zehn mal höhere Korrosionsempfindlichkeit der Gläser ohne Feuerpolitur festgestellt werden. Die Standardabweichungen der erhaltenen ΔE -Werte waren jedoch sehr viel höher als die einer Vergleichsmessung mit feuerpolierten Oberflächen. Die Unterschiede in der Rauigkeit der Oberflächen verursachten diese hohe Streuung der Meßwerte.

Mit Hilfe der IR-Reflexionsspektroskopie war es aber möglich, eine grobe Einteilung der Oberflächen zu erzielen: Je größer die Rauigkeit der Proben, desto stärker die Lichtstreuung und desto geringer sind die IR-Signale im Reflexionsspektrum der Proben. Proben, deren IR-Signalsintensitäten in einem definierten Bereich lagen, zeigten nach der Bewitterung ähnliche Standardabweichungen wie Sensorgläser mit einer feuerpolierten Oberfläche. Somit konnte neben dem feuerpolierten Glassensor für Routineanwendungen (3 bis 12 Monate Expositionszeit) in Innenräumen auch die nicht feuerpolierte Variante für die Kurzeiterfassung (einige Wochen bis 3 Monate) von Umwelteinflüssen bereitgestellt werden. □