

Es sind also alle die Gefahren: Vom Museumsbau, fauler Luft und Staub

Andreas Burmester, Doerner Institut,
Bayerische Staatsgemäldesammlungen München

Zusammenfassung

Der Beitrag – der die Osnabrücker Tagung zur ‚Schadstoffvermeidung im Museum‘ eröffnen wird – nimmt seinen Ausgangspunkt bei Erinnerungsstrategien, bei einer knappen Schilderung der technischen Entwicklung des Museumsbaus und bei einer Definition dessen, was der Referent unter Präventiver Konservierung versteht und lehrt. Mit diesen drei Punkten ist das Feld abgesteckt, in dem sich der Beitrag und unsere Bemühungen um eine Vermeidung von Schadstoffen im Museum bewegen werden.

Eine historisch orientierte Analyse ausgewählter Aspekte des Museumsbaus legt nahe, daß die sprichwörtlich ‚faule Luft‘ und der ‚Staub‘ bereits früh Thema besorgter Diskussionen und technischer Gegenmaßnahmen waren. Doch erst der systematische Ansatz vergangener Jahre beginnt, die Problematik gas- wie auch partikelförmiger Luftschadstoffe meßtechnisch wie auch seitens der Risikoabschätzung zu beschreiben. Neben Grundlagen präsentiert der Beitrag aktuelle Messungen der gängigsten gasförmigen Schadstoffe wie auch von Staub aus verschiedenen Museen, darunter auch den drei Münchner Pinakotheken. Es wird deutlich, daß eine differenziertere Betrachtungsweise angezeigt und die Wunderwaffe der Vollklimaanlage – ursprünglich gegen die ‚faule Luft‘ im Museum eingeführt - zu hinterfragen ist. Ziel des Beitrages ist, den Hörer in die Schadstoffproblematik einzuführen, ein historisches Bewußtsein für ‚faule Luft‘ und ‚Staub‘ im Museum zu wecken, die damit verbundenen Risiken für das Sammlungsgut aufzuzeigen und an Hand konkreter Meßergebnisse ein Gefühl für gängige Belastungen im Außen- wie auch im musealen Innenraum auszubilden. Der Beitrag endet mit einem Katalog praktischer Empfehlungen, welche Gegenmaßnahmen ergriffen werden können, um die Belastung mit gas- wie auch partikelförmigen Schadstoffen zu minimieren.

Einleitung

Das ursprüngliche Konzept zu diesem Vortrag, der die Tagung *Schadstoffvermeidung im Museum* eröffnen soll, war auf Aspekte des Museumsbaus ausgerichtet. Doch während der Ausarbeitung entwickelte sich der Vortrag immer mehr auf die Frage hin, wie die Gegenwart von gasförmigen oder partikelförmigen Schadstoffen in den drei Münchner Pinakotheken zu bewerten sei. Diese Änderung wird ganz in Ihrem Sinne sein.

Erlauben Sie mir gleichwohl, eingangs das Feld abzustecken, auf dem wir uns in der nächsten Stunde bewegen werden. Ich will den Beitrag mit einigen Gedanken zu

etwas, was ich Erinnerungsstrategie nennen will, einleiten. In einem zweiten Schritt will ich einen weiten Bogen von Leo von Klenze, von dem ja auch der erste Teil meines Vortragstitels stammt, bis hin zu Sauerbruch schlagen, der der Architekt der vierten Pinakothek – des Museums Brandhorst - innerhalb des Münchner Museumsareals ist. Einen zweiten Bogen will ich vom Malerrestaurator bis hin zur präventiven Konservierung spannen. Damit wäre das Feld abgesteckt, in dem wir uns bewegen werden. Ein drittes Kapitel wird vom Bauen, fauler Luft und Bogenlampen handeln, bevor wir uns dann in zwei weiteren Abschnitten den theoretischen Grundlagen und aktuellen Meßwerten zu Schadstoffen in den Pinakotheken zuwenden. Alle Messungen nutzen nichts, wenn nicht praktische Gegenmaßnahmen ergriffen werden: In einem letzten Kapitel werden wir also vom Verglasen, vom Lüften und von Grenzwerten hören.

Von Erinnerungsstrategien

Seitdem es Menschen gibt, trägt die Erinnerung die Vergangenheit in die Zukunft. Die Erinnerung macht sich dabei häufig an materiell Greifbarem, in unserem Fall an Kunstobjekten, faßbar. Beispielhaft für die Idee des Sammelns von Erinnerungen und des Hortens von Erinnerungsstücken, hier Gemälden, soll diese Ansicht aus dem Jahr 1886 zeigen, auf der in einer für uns heute kaum akzeptablen Weise Gemälde im Pferdefuhrwerk zur National Gallery in London gekarrt werden und durch einer Horde gaffender Passanten in den bergenden Hort dieser Galerie verbracht werden.

Diese Erinnerungsstrategie des Museums, auf die wir nachher noch ausdrücklich zu sprechen kommen werden, hat ihre Vorläufer gehabt. Die erste mag wohl die in den Pyramiden Ägyptens entwickelte Idee gewesen sein, den Gegenstand des Erinnerns tief unter einem markanten Gebilde aus Stein zu verbergen und so in die Zukunft zu tragen. Hier ist die Materie stabil, doch der Inhalt, das Wissen um die Gräber der Könige, ging verloren und wurde erst wieder durch die moderne Archäologie entschlüsselt.

Die zweite Erinnerungsstrategie ist genau das Gegenteil: Es ist die jüdisch-christliche Religion, die das Wissen und den Glauben um das Wirken eines Gottes auf fragilen Objekten, hier auf den Schriftrollen aus den Qumrân-Funden, niederlegte. All diese fragilen Dokumente waren in Gebrauch und in der Regel unzureichend gelagert, weshalb die meisten verloren sein werden. Gleichwohl überlebte diese Strategie auf der Grundlage zahlreicher biblischer Geschichten durch die Weitergabe dieser Geschichten von Mund zu Mund. Hier also ist der materielle Bestand fragil, der Inhalt gleichwohl durch drei Jahrtausende weitgehend unverändert tradiert.

Die dritte Erinnerungsstrategie versucht die Mängel der beiden ersten Strategien zu überwinden. Es ist die Zeitkapsel, in die Objekte und das Wissen zum Inhalt in einer Kapsel weggeschlossen werden. Die Abbildung zeigt die Zeitkapsel einer amerikanischen Universität aus dem Jahre 1940, die erst im Jahre 8113 geöffnet werden soll. So absurd diese Erinnerungsstrategie erscheint, versuchen doch

Tausende von Zeitkapseln weltweit Objekte und Inhalt in die Zukunft zu tragen. An dieser Stelle sei das außerordentlich interessante Buch *Deep Time* von Gregory Benford erwähnt, das sich mit der Problematik von Zeitkapseln befaßt. Derartige Zeitkapseln laufen in Gefahr, als Ganzes vergessen zu werden, und deshalb bedarf es ausgeklügelter Konzepte, damit das Wissen um den Ort der Zeitkapsel in der Erinnerung der Menschen wachgehalten wird.

Die vierte Erinnerungsstrategie kommt der des Museums unserer Zeit schon am nächsten. Es ist der Shosoin-Schrein im japanischen Nara, der seit dem 7. Jahrhundert nach Christus Teile des damaligen Hausrates des kaiserlichen Hofes birgt, materiell fragil, jedoch über viele Jahrhunderte in einem abschließbaren, klug konzipierten Gehäuse bewahrt. Jährliche Ausstellungen dienen dazu, an wenigen Stücken aus diesem Schrein das Wissen um die Objekte und somit den Inhalt zu tradieren.

Die fünfte Erinnerungsstrategie ist unser Museum, das dem Shosoin-Schrein in vielen Punkten schon nahe kommt. Materiell fragile Erinnerungsstücke werden hier der Öffentlichkeit, zugänglich in gleichsam durchlässigen Gehäusen, bewahrt, ihr Inhalt durch Führungen, Kataloge und Ausstellungen, die sich immer wieder aus dem Bestand neu formieren, gespeist. Durchlässig aber nicht nur für Besucher, sondern leider auch in gleicher Weise für Luftschadstoffe.

Wie Sie alle wissen, hat die Geschichte des Museums auch eine funktionelle Seite, die allerdings in der Regel wenig gewürdigt wird. Sie ist eine Spirale von Ursache und Wirkung, eine Spirale, die wir nicht in jedem Detail nachvollziehen wollen, die aber gleichwohl große Auswirkung auf die Konservierung des Bestandes hat. Am Anfang haben schlechte Sehbedingungen und der Bedarf an mehr Ausstellungsfläche dazu geführt, daß die Fenster von den Wänden an die Decke gewandert sind. In einem zweiten Schritt haben immer mehr Besucher längere Öffnungszeiten bedingt und das Fehlen von Tageslicht die Dächer geöffnet und größere Oberlichter geschaffen. In einem dritten Schritt mußten Maßnahmen gegen die schlechte Luft – die ‚faule Luft‘ – und die stickige Wärme ergriffen werden. Entlüftungsklappen über den Köpfen der Besucher dienten dazu, frische Luft von außen in die Galerie zu bringen. Dies führte wiederum dazu, daß Wasser in die Galerie lief und vor allem der gelbe Smog in die Galerien drang. Deshalb wurden die Entlüftungsklappen wieder geschlossen. Ungemütlichen Raumtemperaturen wurde mit dem Einbau von Zentralheizungen begegnet und der Bedarf nach mehr Licht führte zur Einführung von Gaslampen und elektrischem Licht. Den kurz danach auftauchenden Schäden an Tafelbildern oder Möbeln, die im wesentlichen auf das Heizen der Räume zurückzuführen waren, versuchte man mit einfachen Befeuchtungssystemen zu begegnen. Später ebnete der technische Fortschritt den Weg für die Klimaanlage, die ursprünglich eigentlich als eine Maßnahme gegen den Smog und erst später auch zur Kontrolle von Temperatur und Feuchtigkeit eingeführt wurde. Am Ende der Spirale, also heute, erlaubt der Zaubertrank aus Klimaanlage und neuen Baumaterialien wie Glas, Beton und Stahl die Überwindung

der Schwerkraft und die Klimatisierung scheinbar auch selbst noch so ungeeigneter Bauten für museale Zwecke. Dies ist der Punkt, wo wir heute sind.

Parallel zur technischen Entwicklung des Museums und unserer Erinnerungsstrategien entwickelte sich der Berufsstand des Restaurators vom Malerrestaurator hin zum Fachmann für präventive Konservierung. Nam Paiks Ausspruch, daß der *Ewigkeitskult die älteste Krankheit der Menschheit* sei, beirrt uns nicht in unserem Glauben, die uns anvertrauten Erinnerungsstücke von der Vergangenheit in die Zukunft tragen zu können. Hierzu tragen vorbeugende oder präventive Maßnahmen wesentlich bei. An dieser Stelle bedarf der Begriff der präventiven Konservierung einer Definition. Die E.C.C.O.-Richtlinie für den Beruf des Restaurators aus dem Jahr 1993 zählt zwar die vorbeugende Konservierung zu den vier Haupttätigkeiten des Restaurators, liefert uns jedoch keine Definition. Auch das wegweisende Strategiepapier von Vantaa aus dem Jahre 2000, das als grundlegend für die Aufgaben der präventiven Konservierung anzusehen ist, liefert uns keine Definition. Und nachdem auch im ICOM Code of Ethics aus dem Jahre 2002 nur von der Pflege der Sammlung und im nächsten Absatz von der Konservierung der Sammlung die Rede ist, erscheint eine Definition überfällig, die sich auf keinen Fall – wie im Code of Ethics formuliert – auf den Satz beschränken sollte: „Eine solche vorbeugende Konservierung ist ein wichtiger Faktor für das Risikomanagement des Museums.“ Dieser offenkundig nachträglich angehängte Satz liefert keine Definition. Die von mir im Zusammenhang meiner Lehrveranstaltung an der Technischen Universität München über die Jahre hinweg entwickelte Definition lautet wie folgt (Dauerbaustelle): *„Die Präventive Konservierung bündelt eine Vielzahl indirekter, auf den dauerhaften Erhalt von Kulturgut ausgelegte Maßnahmen und bemüht sich dabei um eine ganzheitliche, interdisziplinär getragene Sicht der Problematik des Erhaltes von Kulturgut. Durch die Schaffung von geeigneten Raumhüllen, verbesserten Klima-, Licht- und Raumlufthbedingungen oder der Optimierung von Transportprozessen u. a. trägt sie damit nachhaltig zum Erhalt ganzer Sammlungsbestände oder –komplexe bei. Im Vordergrund steht eine sorgsame Analyse, Bewertung und Minimierung aller Risiken. Die Präventive Konservierung ist ein wirksames und auf lange Sicht wirtschaftliches Mittel, intervenierende direkte Maßnahmen an einzelnen Objekten auf ein Minimum zu reduzieren. Die Präventive Konservierung bindet alle im Umgang mit dem Kulturgut Betraute verantwortlich ein.“*

Hierbei sind mir folgende Punkte besonders wichtig: Daß es zum einen indirekte Maßnahmen sind, die auf ein ganzheitliches und interdisziplinär getragenes Konzept abzielen, das nachhaltig zum Erhalt ganzer Sammlungsbestände oder Sammlungskomplexe dienen soll. Vor diesem Anspruch befaßt sich die präventive Konservierung mit einer Vielzahl von Aspekten, aus denen ich nur einige wenige für den heutigen Beitrag ansprechen will. Das sind zum einen die sammlungsübergreifende Zustandskontrolle, die Schadenskategorisierung, eine Risikoabschätzung und Bewertung, dann zum anderen das Monitoring von Umgebungsbedingungen, in unserem Falle also eine Kontrolle der Raumluftreinheit

wie auch aller gasförmigen und partikelförmigen Luftschadstoffe, und aus den Meßergebnissen folgend bauliche Konsequenzen, die zu einer Optimierung von Depot, Ausstellung, Arbeitsräumen, Vitrinen, Transportkisten, Verpackungs- und Baumaterialien führen müssen.

Vom Bauen, fauler Luft und Bogenlampen

Es erscheint zum Verständnis notwendig, vor konkrete Messungen zu Luftschadstoffen in den Münchner Pinakotheken einen Absatz über die Geschichte des Museumsbaus einzufügen. Natürlich setzen wir hier mit Leo von Klenze, dem einflußreichen Architekten der Münchner Alten Pinakothek ein. Nicht nur sein Bau, sondern auch seine Schriften sind für unser Handeln heute noch wegweisend. Klenzes Idee, daß sich aus der inneren Einrichtung des Gebäudes, also aus seiner Funktion, das Äußere gleichsam von selbst gestaltet, ist ein Postulat, dem heute leider all zu wenige Architekten folgen. Bei Klenze folgt die Form der Funktion. In seiner *Sammlung Architectonischer Entwürfe* legt Klenze um 1830 die Vorstellung schriftlich nieder, daß eine Gemäldegalerie in einer freien Lage liegen sollte, gesichert gegen Feuergefahr, Staub und Reflexlicht. Wir wollen allerdings Leo von Klenze nicht in die Rolle des ersten Fachmannes für präventive Konservierung drängen, galten doch seine architektonischen Bemühungen primär einer feierlichen Präsentation der Bilder. Wie auch in anderen Bauten des 19. Jahrhunderts mußte sein Augenmerk primär Undichtigkeiten des Daches gelten, wo er Schnee, Eis und Regen als all die Gefahren benennt, die derartigen Konstruktionen drohen. Die Weitsicht Klenzes und die Münchner Situation sollen zudem nicht als typisch für den Museumsbau dieser oder späterer Zeit verstanden wissen. Vielmehr erscheint der traurige Zustand des Museums in Mende als weit repräsentativer für die Situation vieler Häuser. Die Dachkonstruktion morsch, von Menschen verlassen und in lieblosen Arrangement der Sammlungsbestände werden so viele Museen ausgesehen haben. Ganz anders das Beispiel der National Gallery in London, wo man nach dem Umzug in das größere Haus am Trafalgar Square mit verlängerten Öffnungszeiten und bis an die Grenze des Machbaren vergrößerten Oberlichtern hohen Besucherzahlen gerecht zu werden suchte. Gerade hier waren die Klagen über die faule Luft verbreitet und auch Lüftungsklappen als Abhilfe führte zu keiner Verbesserung, da der berühmte, Sherlock Holmes-Lesern vertraute Londoner Smog von außen eindrang. Wir verdanken David Saunders und seinem wundervollen Beitrag *Pollution and the National Gallery* diese Ansicht, die im Vordergrund die Baustelle einer der Galeriedächer zeigt, aber zugleich im Hintergrund Hunderte von qualmenden Kaminen. Der Londoner Smog schwärzte nicht nur die Fassaden der Gebäude - manch Älterer unter Ihnen wird sich lebhaft solcher Fassaden erinnern -, sondern drang natürlich auch über die Lüftungsklappen in die Galerie vor. Die Klage William Russels aus dem Jahre 1852 illustriert dies, als er sagte, daß der dauernde Niederschlag aus atmosphärischen und anderen Quellen das Erscheinungsbild der Gemälde derart beeinträchtigt, daß das Vergnügen des Publikums stark geschmälert wird und er schlägt vor, den Galeriekurator dafür zu bezahlen, um von Zeit zu Zeit die Bilder zu reinigen, was rechtzeitig und ordentlich mit einem Seitentuch geschehen

solle. Aber nicht nur der Smog, sondern auch das in die Galerien eingeführte Gaslicht, hier am Beispiel des heutigen Victoria and Albert Museums im Jahre 1860, trug zur Verschlechterung der Raumluftzustände in den Museen bei.

Glücklicherweise wurde das Gaslicht rasch durch elektrisches Licht ersetzt. Dabei setzte sich die Bogenlampe, deren grelles Licht und scharfe Schatten sicherlich auf der Weltausstellung 1881 in Paris wenig überzeugend wirkten, ebenfalls nicht durch, vielmehr eröffnete die 1879 erfundene Glühbirne die Möglichkeit der künstlichen Beleuchtung von Museen und Ausstellungen. Dieses Konzept fand jedoch, da es schwierig war, die Stromgeneratoren in den Museen unterzubringen - die im übrigen mit Holz- und Kohle gespeist wurden - nur langsam durch. Das Beispiel der City Art Gallery in Manchester um 1903 erscheint also eher die Ausnahme, in der Alten Pinakothek zog das elektrische Licht wohl erst mit dem Wiederaufbau in den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts ein.

War mit der elektrischen Beleuchtung ein Problem gelöst, blieb doch die Beeinträchtigung durch Luftschadstoffe in der Außenluft wie auch in den Museumsräumen. Die Klage hierüber ist alt, äußert sich schon John Evelyn 1661 in dem Sinne, daß der schreckliche Rauch unsere Kirchen verdunkelt, unsere Kleider verfaulen läßt und daß sich der gelbe Qualm auf auserlesenste Gemälde, Vorhänge und Tapeten legt. Hieran hat sich zu Ende des 19. Jahrhunderts wenig geändert, beschreibt doch Church die festen und flüssigen Partikel, die im gelben Smog vorhanden seien. Auch wenn damals bereits der Hausbrand als Hauptursache bekannt war und auch die Symptome anhand der Veränderungen von Kunstobjekten geschildert wurden, waren doch die Ursachen in ihrer ganzen chemischen und physikalischen Bandbreite noch unklar. Heute wissen wir, daß Luftschadstoffe Metalle anlaufen und korrodieren lassen, daß sie Gemälde und organische Überzüge verfärben und verschmutzen, daß Papier verfärbt und brüchig wird, daß Fotos unter Luftschadstoffen leiden, daß Textilien brüchig werden, Textilfarben sich verändern, Leder an der Oberfläche pulvrig wird und Gummi bricht, daß also museumstypische Materialien empfindlich gegen *alle die Gefahren* (Klenze) sind. Die Ursachen liegen in einer Mixtur verschiedenster Luftschadstoffe, aber eben auch - und dies verkompliziert die Situation - an anderen Faktoren wie der Luftfeuchte oder elektromagnetischer Strahlung. Wer will wissen, ob der hier gezeigte Buchumschlag am Buchrücken einen Lichtschaden hat oder ob dieser Schaden nicht auch durch Luftschadstoffe verursacht wurde? Am Ende läuft die Schädigung auf das komplexe Zusammenwirken vieler Einflußgrößen und der Zeit hinaus. Diese Betrachtungsweise in Form einer Dosis hat sich in der Praxis als außerordentlich hilfreich erwiesen. Wird eine der Einflußgrößen durch kluge Gegenmaßnahmen im Rahmen unserer präventiven oder vorbeugenden Konservierung reduziert, wenn möglich sogar auf Null gebracht, so verbleiben immer noch all die anderen Einflußgrößen, die unvermindert zur Schädigung des Kunstobjektes beitragen. Denkt man in Dosen, so kann natürlich auch über den Faktor der Zeit - also z. B. die Ausstellungsdauer - die Schädigung minimiert werden. Bei dieser eher naturwissenschaftlich orientierten Betrachtungsweise sollte zugleich auch eine Risikoabschätzung einfließen. Für unser Fachgebiet wegweisend haben Robert

Waller und Jonathan Ashley-Smith die Risikobetrachtung eingeführt. Die Vielzahl von Risiken, bei denen ich nur auf die Fremdstoffe eingehen will, hat Auswirkungen nicht nur auf ein Einzelobjekt, sondern immer auf den gesamten Bestand einer Teilsammlung. Bedauerlicherweise erlaubt die Kürze der Zeit keine umfassende Betrachtung dieser Thematik, vielmehr wollen wir, wie bereits erwähnt, einzig die Fremdstoffe herausgreifen. Die Risikoanalyse kennt drei Ereigniskategorien, die als katastrophal, schwerwiegend oder allmählich bezeichnet werden können. Dabei tritt das katastrophale Ereignis nur selten auf, das schwerwiegende Ereignis nur sporadisch und das allmähliche wirkt permanent auf das Objekt ein. Im Hinblick auf die Fremdstoffe, dazu zählen auch die Luftschadstoffe, wären für die erste Kategorie ein Unfall in einem Industriebetrieb oder eines Gefahrtransportes, bei dem kurzfristig große Mengen von Schadstoffen austreten zu nennen. In die zweite Kategorie fallen der Einsatz von korrodierenden Reinigungsmitteln oder Baustaub – beides Ereignisse, die nur sporadisch auftreten. In die dritte Kategorie fallen Schadstoffe, die dauernd in kleinen Dosen vom Verpackungsmaterial freigesetzt werden oder die im Aufbewahrungsmaterial enthalten sind. Bezogen auf Robert Wallers Beispiel einer naturkundlichen Sammlung müssen sich die drei Ereigniskategorien unterschiedlich auf Fischpräparate in Flüssigkeiten in Standgefäßen, oder auf Mineralien in offenen Schachteln in Schubladen, oder auf ein Herbarium auf Pappen in Alben oder Kartons auswirken. Wir wollen dieser Analyse nicht länger folgen, sondern nur noch in einem Nachsatz anfügen, daß generell von der Überlegung ausgegangen wird, daß Wenig wenig schadet und Viel viel. Und je länger ein Material einem Schadstoff ausgesetzt wird, desto größer wird der Schaden sein. Dieser Betrachtungsweise, daß also die Schädigung durch Luftschadstoffe tendenziell linear verläuft, wird durch Experimente gestützt.

Von gasförmigen und partikelförmigen Luftschadstoffen

Wie bereits eingangs angekündigt, möchte ich die Thematik der Schadstoffe im Museum auf gasförmige und partikelförmige Luftschadstoffe eingrenzen. Dies scheint naheliegend, da die Pinakotheken im großen und ganzen Gemälde an der Wand und im Depot bergen. Dies bedeutet, daß ich die Problematik von geschlossenen Behältnissen mit ihrem Mikroklima weitgehend ausklammern will, und mich auch zwangsläufig, - die Gründe werden später ersichtlich - auf eine kleine Auswahl von Luftschadstoffen konzentrieren will. Erlauben Sie mir, daß ich eingangs noch einmal die Zusammensetzung von trockener Luft ins Gedächtnis rufe, die zum großen Teil aus Stickstoff und Sauerstoff und nur im Bereich von wenigen Prozenten aus sonstigen Gasen, wie den Inertgasen oder CO₂ bestehen. In der konditionierten Luft in Galerie wie im Depot sind zusätzlich noch bis zu vier Volumen Wasser und wechselnde Gehalte an Ozon, Stickoxyden, Schwefeldioxid, Ammoniak, Kohlenmonoxid und partikelförmige Schadstoffe präsent. Üblicherweise werden die Konzentrationen dieser Luftschadstoffe als part per billion (ppb) angegeben oder in Mikrogramm pro Kubikmeter angegeben. Ein ppb erscheint dabei wenig, in einem m³ Luft mit 10²⁵ Molekülen bedeutet dies jedoch immer noch einen Anteil von 10¹⁶ Schadstoffmolekülen, von denen jedes einzelne reaktionsfähig ist. Es sei noch der

Hinweis erlaubt, daß die Schadstoffkonzentration, die wir ja auch aus der Kontrolle von Arbeitsplätzen kennen, dort in der Regel in einer tausendfach höheren Einheit, nämlich als part per million (ppm) angegeben werden. Diese Anmerkung hat Bedeutung für die eingesetzten Meßverfahren, die in der Regel auf Schadstoffkonzentrationen an Arbeitsplätzen abgestellt sind, und deshalb für die Messung in Museen ungeeignet sind. Die zweite Anmerkung bezieht sich auf die Umrechnung von einer Einheit in die andere, also von ppb in Mikrogramm/m³. Da diese Umrechnung vom Luftdruck und der Temperatur abhängt, ist sie nicht einfach.

Von gasförmigen Schadstoffen

Wir haben es den heute erwachsen gewordenen Grünen und dem gestiegenen Umweltbewußtsein in Politik, Industrie und Gesellschaft zu verdanken, daß wir zum einen auf verlässliche Daten zum Zustand der Außenluft zurückgreifen können und zum anderen mit Befriedigung feststellen können, daß viele Luftschadstoffe in den vergangenen 20 Jahren deutlich abgenommen haben. Beispielhaft steht hierfür der Rückgang der Konzentration von Schwefeldioxid, der heute weit unter dem im Museum gültigen Sollwert von 10 Mikrogramm/m³ entsprechend 4 ppb liegt. Ähnliches ist leider nicht für die beiden Stickoxyde, das Stickstoffmonoxyd und das Stickstoffdioxid zu berichten, deren Konzentration über all die Jahre nur minimal abgenommen hat. Für unsere museale Betrachtung spielt dabei das Stickstoffmonoxyd nur eine untergeordnete Rolle, da es in Verbindung mit Ozon und Sauerstoffradikalen rasch zu Stickstoffdioxid oxidiert wird. Gerade jene Ozongehalte sind über die letzten 20 Jahre stetig ansteigend. Als Beispiel ist hier die Situation an einem der belebtesten Plätze Münchens gewählt, was allerdings den falschen Eindruck erweckt, daß die Situation in Berchtesgaden, also inmitten der schönsten Berglandschaft Bayerns, besser sei. Auch hier liegen die monatlichen Mittelwerte weiter über dem Sollwert von 2 Mikrogramm/m³ entsprechend 1 ppb.

Die im musealen Kontext gemessenen Innenwerte seien illustriert mit einigen Beispielen. Als erstes Beispiel dient mir ein nichtklimatisiertes naturkundliches Museum in einer Großstadt. Folgt man der kleinteiligen Bauweise der ineinandergeschachtelten Innenräume vom Eingang immer weiter in das Innere des Museums, so nehmen im Winter wie im Sommer die Gehalte an Stickstoffdioxid stetig ab. Wichtig ist hierbei, daß alle Fenster und Türen sorgsam abgedichtet wurden, so daß die Außenluft nur schwer in das Innere vordringen kann. Zu den niedrigen NO₂-Gehalten trägt aber mit Sicherheit genauso die verschachtelte Bauweise bei. Ein anderes Beispiel ist die ebenso nicht nichtklimatisierte Schack-Galerie, wobei Schadstoffgehalte an Ozon, SO₂ und NO₂ im Windfang in ungefähr dem entsprechen, das auf dem der äußerst belebten Straße zugewandtem Balkon gemessen wurde. Insbesondere die Gehalte an SO₂ liegen in der Eingangssituation nahe gelegenen Raum 3 sogar über dem außen gemessenen Meßwert. Die NO₂ Gehalte liegen über den von Garry Thomson empfohlenen Grenzwerten. In einer zweiten Darstellung wird deutlich, daß dies für Ozon im besonderen Maße, aber auch

für NO₂ generell gilt, während die SO₂ Gehalte sich im vertretbaren Rahmen bewegen.

Gänzlich anders stellt sich dies in Häusern mit einer Vollklimaanlage dar, die in der Regel sowohl die Zuluft wie auch die Umluft mit Grob-, Fein-, Feinst- und Aktivkohlefiltern reinigen. Wie bereits Blades et al. jüngst publizierten, garantiert die Aktivkohlefilterung keine völlige Beseitigung von Ozon, NO₂ und SO₂.

Übereinstimmend mit der erwähnten Untersuchung beobachteten wir in der Pinakothek der Moderne, daß zwar Ozon äußerst wirksam, NO₂ und SO₂ jedoch weit weniger gebunden werden. Gleichwohl ist festzustellen, daß die hohen Außenwerte, insbesondere von Ozon, aber auch die NO₂ deutlich reduziert werden.

Von partikelförmigen Schadstoffen

Die bei SO₂ zu beobachtende erfreuliche Tendenz über die Jahre stetig fallender Außenwerte gilt leider nicht für Feinstäube. Nicht zuletzt aufgrund der nicht nachvollziehbaren passiven Haltung der deutschen Politik im Hinblick auf Dieselruß sind hier gleichbleibende Konzentrationen von im Mittel mit etwas über 40 Mikrogramm/m³ in verkehrsreichen Situationen zu beobachten. Dabei sollte der im Mittel genannte Wert nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Spitzenlasten ein Mehrfaches betragen könnten. Zu den Feinstäuben rechnen wir aber nicht nur Dieselruß, Industriestaub oder Flugasche, sondern auch Viren, Pollen, Bakterien, Rauch, Nebel, Nieselregen, Ölnebel und andere Partikel. In jüngerer Zeit geraten dabei auch immer mehr Schwermetalle in den Mittelpunkt des Interesses, die im Falle der Außenluft seit einiger Zeit meßtechnisch erfaßt werden, aber im musealen Umfeld bislang unbeachtet blieben. Hierbei ist an eine ganze Reihe von Schwermetallen zu denken, worunter auch außerordentliche giftige wie Arsen, Blei, Cadmium oder Thallium zählen. Für Museen in Küstennähe sind weiterhin hohe Salzgehalte zu berichten, alkalische Partikel spielen bei Baumaßnahmen eine große Rolle.

Innerhalb der Museumsräume haben die Untersuchungen von Saunders und auch anderer Autoren die Gegenwart von Textilfasern, von mit den Schuhen eingeschlepptem Straßenschmutz, aber auch von Hautpartikeln belegt. Möglichenfalls an sich harmlose Stäube- wie z. B. Textilfasern – könnten sich als Transportvehikel für weitaus schädlichere Bestandteile herausstellen. Über diese Thematik ist wenig bekannt, seriöse Untersuchungen von Staub im Museumsbereich sind mir nur aus wenigen Beiträgen vor, eigene Bemühungen unseres Institutes fruchteten bislang wenig.

Offenkundig gibt es in klimatisierten Innenräumen einen engen Zusammenhang zwischen der Luftführung der Klimaanlage und der Bewegung der Besucher in den Räumen. Außerhalb der Öffnungszeiten sinkt der durch die Besucher verwirbelte Staub offenkundig zu Boden, wobei sich aus zahllosen kleinen Partikeln durch elektrostatische Aufladung größere Partikel bilden, die am Ende als die Ihnen bekannten Wollmäuse in den Raumecken enden. Die Staubmessungen belegen dabei

weiterhin, daß in der Nähe von Eingangsbereichen erhöhte Staubbelastungen beobachtet werden, die eindeutig mit der eindringenden Außenluft zu korrelieren sind. Diese Staubbelastung baut sich in dem Maße ab, wie man weiter in das Gebäude vordringt. Erhöhte Werte können hier nur im Umfeld von Baustellen festgestellt werden. Die Interpretation von Staubmessungen ist aus vielerlei Gründen, die hier im einzelnen aus Zeitgründen nicht zu diskutieren sind, schwierig. Kehren wir noch einmal in die Schack-Galerie zurück: Hier liegen während der Besuchszeiten die Werte auffallend höher als die als Grenzwert angesetzten 75 Mikrogramm/m³. Als interne Schadstoffquelle läßt sich rasch der Teppichboden ausmachen, der in den späten 80iger Jahren, dem Geschmack der Zeit folgend, verlegt wurde. Bei den Staubkonzentrationen ist aber nicht nur dieser Teppichboden ausschlaggebend, sondern auch das Raumvolumen. In niedrigeren Räumen wie in Raum 10 oder 11 liegen die Werte weitaus höher als in dem ungefähr doppelt so hohen Raum 12, in dem sich die gleiche Menge an Textilpartikel pro m³ über ein größeres Volumen verteilen. Ebenso schlagen sich eintrittsfreie Sonntage mit erhöhten Besucherzahlen in den Meßkurven nieder. Weitaus niedriger liegen die Werte in der Alten Pinakothek, deren Parkettboden täglich gereinigt wird. Die Reinigungsbemühungen in der Schack-Galerie beschränken sich auf einen Staubsauger, der täglich abgeriebene Textilfasern neu im Luftvolumen verteilt, da die kleineren Teilchen mit Sicherheit durch die Filter wandern und unverändert dem Raum wieder zugeführt werden.

Unsere eigenen Staubmessungen, die erstmalig von Marcus Herdin in den Pinakotheken vorgenommen wurden, vermitteln uns zwischenzeitlich ein gutes Gefühl für typische Belastungen. Die Reinigungspolitik der Alten Pinakothek mit ihrer vergleichsweise neuen, im Jahr 1998 eingebauten Klimaanlage, zeichnen für Werte verantwortlich, die immer deutlich unter dem Grenzwert liegen. In dem Maße, in dem der Baustaub in der Pinakothek der Moderne durch tägliche Naßreinigung beseitigt wurde, sanken auch hier die Staubbelastungen, allerdings sammelt sich hier, bedingt durch die Quelllüftung, der Staub im unteren Meter vom Boden ausgehend, weshalb die Galerie nach stark besuchten Tagen immer ungepflegt wirkt. Gänzlich anders stellt sich die Situation in der Neuen Pinakothek dar, deren 25 Jahre alte Vollklimaanlage wenig zur Reduzierung der Staublasten beiträgt. Obwohl die Räume täglich gereinigt werden und der Parkettboden sich wohltuend gepflegt zeigt, waren hier hohe Staublasten zu beobachten, die ein Zwei- bis Dreifaches über dem Grenzwert lagen. Anfänglich völlig unerklärlich, fand diese Beobachtung jüngst ihre Erklärung darin, daß offensichtlich zur Reduzierung der Kosten kurz nach Öffnung der Galerie im Jahre 1981 die Zuluftklappen zugeschweißt wurden und zudem die Filteranlagen stark verschmutzt waren. Diese Tatsache mag den hohen Staubgehalt erklären, die staubbefrachtete Luft wird seit Jahrzehnten in diesem Hause immer nur umgewälzt. Angemerkt sei, daß keiner der Besucher und auch keiner der Mitarbeiter sich bislang über zu geringe Frischluftanteile beschwert hat. Hierbei mag die Zuluft aus dem Hallenbereich und der Eingangssituation die Situation mildern. Ende 2004 eingebaute neue Aktivkohlefilter und die Öffnung der Frischluftzufuhr auf einen Anteil von rund 20% werden die Schadstoffbelastung

verändert, hoffentlich sogar deutlich verbessert haben. Messungen stehen hier noch aus.

Vom Verglasen, vom Lüften und von Grenzwerten

Mit der Diskussion der Ursachen sind wir mitten im Thema, denn Ziel der präventiven Konservierung darf nicht nur die Beschreibung des Ist-Zustandes, sondern müssen auch wirksame Konzepte für Gegenmaßnahmen und Aussagen zu Grenzwerten sein. Eine der frühesten Maßnahmen, die mir im Hinblick auf die Belastung mit Raumluft bekannt sind, ist der für die National Gallery London bereits für das Jahr 1876 belegte Rückseitenschutz und eine Schutzverglasung. Beide Maßnahmen wurden damals an möglichst vielen Gemälden umgesetzt. Heute meint die National Gallery dank ihrer sorgsam gepflegten Klimaanlage und einer sporadischen Überwachung des Raumklimas auf diverse Luftschadstoffe hin, auf eine Schutzverglasung verzichten zu können. Als Rückseitenschutz wurden damals auch Zinnfolien vorgeschlagen, die mit der ‚faulen Luft‘ abreagieren sollte. Am Ende erwiesen sich allerdings gewachste oder grundierte Leinwände als weit geeigneter. Diese trugen sicherlich wesentlich zu einer verzögerten Diffusion von Luftschadstoffen aus der Raumluft in Richtung des Bildträgers hin. Beide Maßnahmen, Rückseitenschutz wie auch Schutzverglasung, sind heute in den Pinakotheken Standard.

Als eine weitere Maßnahme empfiehlt sich eine klug überlegte Auswahl geeigneter Wandoberflächen. Die Untersuchung von Blades et al. belegt, daß zur Verringerung der CO₂ Gehalte Oberflächen aus Ziegel, Holz oder Gipskarton weit wirksamer sind als Metall oder Glas. Als günstig wirken sich weiterhin eine kleinteilige Raumaufteilung mit kleinen Raumvolumina und somit einem großen Anteil an reaktiver Wandoberfläche aus. Dieser komplexe Sachverhalt läßt sich in einer Gleichung darstellen, in die einmal die reaktive Oberfläche, dann das Raumvolumen und die Luftaustauschrate eingehen. Neben diesen wichtigen Parametern findet auch die Geschwindigkeit Eingang, in der sich die Luftschadstoffe auf die Oberflächen niedersetzen und dort abreagieren. So wird z. B. SO₂ durch Zement oder auch Aktivkohle absorbiert, während Emulsionsfarben- oder Ölfarbenanstriche wenig zur Reduzierung beitragen. Deutlich wird bei den Untersuchungen auch, daß NO₂ weitaus schlechter absorbiert wird. Hier wirkt sich im wesentlichen die Länge des Weges von der Eingangssituation bis in den Galeriebereich aus. Aus diesem Grund versuchen die Münchner Pinakotheken bereits seit Klenze den Weg des Besuchers vom Eingang über die Garderobe in die Galerieräume so lang als möglich auszuformen.

Je intensiver man sich mit der Problematik von Luftschadstoffen auseinandersetzt, desto mehr rückt NO₂ in den Mittelpunkt des Interesses. Die kontinuierlichen Messungen durch Saunders belegen, daß in nicht klimatisierten Räumen einzig die Filterung der Frischluft eine wirksame Reduzierung von NO₂ bewirkt. Hiermit kann eine deutliche Verbesserung der Raumluftsituation erreicht werden.

Eine Absorption von Schadstoffen kann jedoch nicht nur mit Vollklimaanlagen erreicht werden, sondern auch mit mobilen Filtereinheiten. Wie am Beispiel des bereits erwähnten naturkundlichen Museums ersichtlich, können hier im Umluftbetrieb die Gehalte an NO_2 , SO_2 und Schwefelwasserstoff auf unter die Erfassungsgrenze gesenkt werden. Eine derartige Maßnahme empfiehlt sich insbesondere für geschlossene Depotbereiche, wo hervorragende Ergebnisse erzielt werden können.

In eben diesen Depotbereichen begegnen wir immer in räumlich verdichteter Form internen Schadstoffquellen. Als Beispiele seien Eichenholz, das Ameisen- oder Essigsäure freigibt, oder unter den Kunststoffen PVC, das Salzsäure freigibt, genannt. Über diese Mechanismen wissen wir noch allzu wenig. Allerdings ist bekannt, daß sich Formaldehyd, Ameisensäure, Acetaldehyd und Essigsäure in Depotschränken, Schubladen oder Kartons zu Werten aufkonzentrieren können, die ein Zehnfaches der Außenwerte betragen können.

Zusammenfassend empfiehlt sich also vor allem, die Dichtigkeit der Raumhülle zu verbessern und besonders empfindliche Kunstobjekte in Vitrinen zu präsentieren bzw. diese im Depot in Schränken zu lagern. Hierbei ist im Depotbereich auf besagte Problemfälle zu achten, die ihrerseits Schadstoffe abgeben und andere Objekte damit gefährden. Als Beispiel seien verspiegelte Objekte aus dem 18. Jahrhundert genannt, die hohe Konzentration von Quecksilber abgeben. Aus meiner Erfahrung sollten Zuluft/Frischlufteinlässe sorgsam überprüft und ggf. verbessert werden. Die Möglichkeiten der modernen digitalen Regelungstechnik erlauben ein intelligentes Lüften, wobei das Registrieren von Besucherzahlen oder auch die Messung der CO_2 -Konzentration ein bedarfsgerechtes Lüften erlaubt. Wie aufgezeigt, empfiehlt sich generell, die Vergrößerung oder der Einbau absorbierender Oberflächen, wobei die Auswahl der Baumaterialien in enger Abstimmung mit der Fachkraft für präventive Konservierung erfolgen muß. Gerade im Depotbereich können sich mobile Luftreinigungsanlagen als Segen erweisen, während die in der Regel eingesetzten Staubsauger aus dem Haushaltsbereich den Staub eher verteilen als sammeln. Der Staub verschwindet sichtlich, verteilt sich jedoch möglichenfalls einfach in der Raumluft. Erlaubt die angespannte Haushaltssituation keine Vollklimaanlage bzw. sprechen noch andere Punkte gegen den Einbau einer Vollklimaanlage, können lokale und dezentrale Kleinanlagen die Situation sehr empfindlicher Objekte nachhaltig verbessern. Diese Nachhaltigkeit wird allerdings nur durch eine regelmäßige Wartung der Anlagen erzielt.

Übereinstimmend mit anderen Autoren ist festzustellen, daß große Unsicherheit bei der Festlegung von Grenzwerten besteht. Der Rückgriff auf Garry Thomsons Standardwerk *The Museum Environment* – ein Buch, das Jedem zur Lektüre anempfohlen sei – sollte nicht darüber hinwegtäuschen, daß bislang nur wenige Standards mit nachvollziehbaren Begründungen für den musealen Kontext festgelegt wurden. Mag dies für SO_2 , NO_2 , Ozon oder Feinstäube der Fall sein, so

fehlen uns Grenzwerte für Schwefelwasserstoff, CO₂, Ameisen- und Essigsäure wie auch Formaldehyd.

Schluß

Es sind also alle die Gefahren: Im Umgang mit Schadstoffen im Museum, in meinem Fall im Umgang mit Luftschadstoffen in den Münchner Pinakotheken und seinen zahlreichen Zweiggalerien haben die vergangenen Jahre überraschende Einblicke in komplexe Zusammenhänge gebracht. Dabei sind mehr Defizite als Lösungen zu erkennen. Deutlich wurde: Auch wer mit Vollklimaanlagen arbeitet, scheint nicht vor Gefahren gefeit und dies erst recht, wenn die Anlagen nicht ausreichend gepflegt werden. Faule Luft und vor allem Staub sind stete Gefahr. Einordnung und Bewertung der Staub- und Schadstoffmessungen fallen schwer, da begründete Grenzwerte und grundlegende Untersuchungen fehlen. Hierzu bedarf es mehr als des guten Willens: Ein Blick in Nachbardisziplinen mag auch hier neue Grundlagen für die Präventive Konservierung im Museum bieten. Befürchtungen und Mutmaßungen zu äußern, hilft wenig, Messen mehr. Der Rest ist solide Analytik – wobei wir sicherlich aus der Umweltanalytik noch Vieles lernen könnten –, sind finanzielle Ressourcen und vor allem ein gesamtheitliches Verständnis der Problematik. Genau letzterer Punkt zeichnet die Präventive Konservierung im Umgang mit allen diesen Gefahren aus! Klenze hätte hieran seine Freude!

Adresse des Referenten: Privatdozent Dr. Andreas Burmester, Doerner Institut, Bayerische Staatsgemäldesammlungen, Barer Straße 29, D 80799 München, T +49.89.23 80 5-155 (Sekr. Frau Krauß), F +49.89.23 80 5-156, E burmester@doernerinstitut.de, | www.doernerinstitut.de