

# Innovative hybride graphische Systeme zur Denkmalüberwachung und -verwaltung am Beispiel historischer Wandmalereien— Ein Erfahrungsbericht

ROLF-JÜRGEN GROTE AND ANNETTE HORN SCHUCH

## *1. Die Datenbank der mittelalterlichen Wandmalereien in Niedersachsen—Servicemöglichkeit für Denkmalpflege und Kulturwissenschaft*

Historische Wand- und Deckenmalereien sind wichtige Belege unseres Kulturerbes. Das schmückende Ausmalen von Räumen war in allen Kulturen und Epochen ein wesentlicher Bestandteil der Raumgestaltung. In anschaulicher Weise können sie kulturelle Werte und Normen vermitteln. Als beredte Zeugen ihrer Entstehungszeit spiegeln sie kulturelle Entwicklungen wider und geben Auskunft über Wandlungen oder Konstanten von Sitte, Moral, Religion, Weltanschauung, Kunstempfinden und Geschmack im Laufe der Zeiten. Außerdem können sie eine Chronologie von Handwerks- und Technologiegeschichte aufzeigen.

Niedersachsen hat einen Bestand von mehr als 250 bedeutenden Raumausmalungen allein des Mittelalters. Inzwischen konnte er im Rahmen einer rechnergestützten Inventarisierung flächendeckend nach Verbreitung und Altersschichtung, den wichtigsten Schäden und den kunsthistorischen Inhalten erfaßt und ausgewertet werden.<sup>1</sup> Die Endstufe wird ein Corpus-Werk mit einem ent-

---

<sup>1</sup> R.-J. Grote, H. Glashoff und D. Pandlowsky, ‘Die Erfassung der mittelalterlichen Wandmalereien in Niedersachsen—Ein Projekt zum Schutz einer gefährdeten Kunstgattung’,

sprechenden Schadensatlas bilden.<sup>2</sup>

Um rasch zu ersten Ergebnissen zu kommen, wurde interaktiv zwischen Dokumentaren und Denkmalpflegern eine auf die wesentlichen Informationen reduzierte Version einer praxisorientierten Datenbank entwickelt.<sup>3</sup> Sie ist iterativ ausbaufähig und setzt sich aus folgenden Bausteinen zusammen:

1. Gebäudebezogene Daten (Eigentümer, Ansprechpartner, Heizung, Material, Gebäudeschäden usw.).
2. Stichwortartige Beschreibung der ikonographischen Zusammenhänge (Auswertung der Darstellungen nach dem kunsthistorischen Klassifikationssystem ICONCLASS der Niederländischen Akademie der Wissenschaften).
3. Lokalisierung der einzelnen Malereien im Gebäude mit grafischer Orientierung durch Verteilungskizzen.
4. Restauratorische Bestands- und Zustandserfassung der Wandmalereien (Angaben zu Maltechnik, Konservierung, Restaurierung usw.).
5. Arbeitsfotos nach normiertem Fotoplan als visuelle Hilfe.

---

Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen, 14.2 (1994), ss. 81–83; R.-J. Grote, H. Glashoff und D. Pandlowsky, ‘Die EDV-gestützte Erfassung der mittelalterlichen Wandmalereien in Niedersachsen—Ein Projekt zum Schutz einer gefährdeten Kunstgattung’, in *Der Kaiserdom in Königslutter. Ein Kulturdenkmal auf dem Prüfstand. Interdisziplinäre Service-Leistungen der Denkmalpflege an einem national bedeutenden Kunstwerk*, Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen, 14 (Hannover, 1996; im folgenden zitiert als: *Kaiserdom in Königslutter*), ss. 98–101; vgl. außerdem in diesem Zusammenhang: K. Dobrat und U. Paehlke, *Mittelalterliche Wand- und Deckenmalerei in Niedersachsen—eine annotierte Bibliographie* (Dipl.-Arb.), Fachhochschule für Bibliothekswesen, Information und Dokumentation (Fh. BID) (Hannover, 1989); *Konzept und Realisierung einer Objekt-Datenbank der mittelalterlichen Wandmalereien Niedersachsens* (Faltblatt Fh. BID. Objekt-Datenbank im Bibliotheks-, Informations- und Dokumentationswesen) (Hannover, 1990); A. Seiberlich: *Probleme ikonographischer Klassifikation am Beispiel mittelalterlicher Wandmalereien Niedersachsens* (Dipl.-Arb.) (Fh. BID. Hannover, 1991); S. Weber, *Mittelalterliche Wandmalerei: Literaturbericht zu Fragen der Maltechnik und des mikrobiellen Befalls* (Dipl.-Arb.) (Fh. BID. Hannover, 1990).

<sup>2</sup> Für großzügige Unterstützung und Förderung des Projektes sei der Stiftung Niedersachsen ganz herzlich gedankt. Als erster Einstieg in die Materie entstand gemeinsam mit der Fh. BID die Diplomarbeit von C. Schladenhaufen, *Conception et réalisation d'un programme d'exploitation d'une base de données, développée sous dBASE III+* (Rapport de stage Univ. Claude Bernard Lyon I, 1991); außerdem: R.-J. Grote, *Wandmalereien—Probleme ihrer Bestands- und Zustandserfassung*. Vortrag gehalten anlässlich Alte Kirche Idensen—Internationales kunsthistorisches Symposium in Wunstorf, am 21.11.1991.

<sup>3</sup> A. Hilpusch, *Konzept und Realisierung einer Datenbank mittelalterlicher Wandmalereien Niedersachsens* (Dipl.-Arb.), Fh. IuK Hannover (Hannover, 1995) (inzwischen kontinuierlich den aktuellen Erfordernissen der Denkmalpflegepraxis angepaßt).

6. Literaturzitate nach DIN 1505 mit Annotationen zu gebäude- und gemälderelevanten Aussagen.

Über ein Recherche-Modul ist es möglich, differenzierte inhaltliche Fragestellungen für die ständige Denkmalpflegepraxis zu beantworten.<sup>4</sup> Mögliche Suchfragen aus der Vielfalt kunstwissenschaftlicher und denkmalpflegerischer Problemstellungen könnten beispielsweise folgendermaßen lauten:

1. In welchen Kulturdenkmälern des Landkreises Hildesheim existieren mittelalterliche Wandmalereien?
2. Auf welchen niedersächsischen Wandmalereien des 14. Jahrhunderts wird die Geburt Christi dargestellt?
3. Welche Wandmalereien im Braunschweiger Dom weisen Schäden durch Algen oder Salzbelastung auf?

Selbstverständlich lassen sich mit den erläuterten Recherche-Möglichkeiten nicht nur kunsthistorische Fragestellung beantworten. Bei voller Ausschöpfung des Entwicklungspotentials lassen sich darüber hinaus eine Fülle aus der Denkmalpflegepraxis kommender Probleme lösen bis hin zu einem objektbezogenen Monitoringsystem für Maßnahmen der Wartung und Qualitätskontrolle oder—with Blick auf den Gesamtbau niedersächsischer Wandmalereien—einem flächendeckenden Schadensatlas im Rahmen eines Denkmalerhaltungsplanes.

Das Modellprojekt wurde übrigens so angelegt, daß sich entsprechende praxisorientierte Hilfen auch für andere wichtige Kulturdenkmale—wie z.B. Altäre—daraus ableiten lassen könnten.

Wegen erheblicher Finanzierungsprobleme ist trotz des vorhandenen know-hows das große Entwicklungspotential dieses wichtigen Arbeitsinstrumentes zur Zeit allerdings nur ansatzweise ausgeschöpft.

## *2. Rechnergestützte Denkmalinformationssysteme für historische Wandmalereien*

### **2.1 Problemstellung**

Wegen immer knapper werdender Ressourcen müssen auch bei der Betreuung des einzelnen Kulturdenkmals Personal und Fördermittel noch effizienter eingesetzt werden, ohne daß Service-Leistungen und Bearbeitungsgüte darunter leiden. Wie dieses Ziel zu erreichen ist—and welche positiven Lösungsmöglichkeiten bereits bestehen—, läßt sich an den Wandmalereien als besonders problematischer

---

<sup>4</sup> F. Papendorf und R.-J. Grote, 'Servicemöglichkeiten der Denkmalpflege—Datenbank der mittelalterlichen Wandmalereien in Niedersachsen', *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen*, 17.2 (1997), ss. 97–100.

Kunstgattung beispielhaft darstellen.<sup>5</sup>

Auch Kulturgüter in Innenräumen wie historische Wandmalereien sind vielfältigsten Schadensfaktoren ausgesetzt.<sup>6</sup> Um die komplexen Wirkungsmechanismen für Therapie- und Wartungskonzepte zu erfassen, zu interpretieren und zu quantifizieren, ist eine methodisch abgesicherte Arbeits- und Dokumentationsystematik dringend erforderlich (wobei unter ‘Dokumentation’ die ‘planmäßige Sammlung, Ordnung und Nutzbarmachung von Dokumenten und Daten’ zu verstehen ist).<sup>7</sup> Da die bisherigen Verfahren bei der Bearbeitung komplexer Fragestellungen erkennbar an Grenzen gestoßen sind, bilden rechnergestützte Arbeitshilfen inzwischen innovative Schwerpunkte auf internationaler Ebene.<sup>8</sup>

---

<sup>5</sup> Vgl. z. B.: *Historische Technologie und Konservierung von Wandmalerei*, Vortragstexte der dritten Fach- und Fortbildungstagung der Fachklasse Konservierung und Restaurierung (Schule für Gestaltung. Bern, 5. und 6. November 1984. Bern, 1985); *Schäden an Wandmalereien und ihre Ursachen. Ein Forschungsprojekt des Bundesministers für Forschung und Technologie. Aktuelle Vorberichte zu den ersten interdisziplinären Befunden*, Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen. 8 (Hannover, 1990; im folgenden zitiert als: *Schäden an Wandmalereien*); *Forschungsprojekt Wandmalerei-Schäden. Ein Förderprojekt des Bundesministers für Forschung und Technologie. Schlußbericht zu den interdisziplinären Befunden*, Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen. 11 (Hannover, 1994; im folgenden zitiert als: *Forschungsprojekt Wandmalereischäden*); *Kaiserdom in Königslutter*.

<sup>6</sup> Vgl. z. B.: S. Fitz, ‘Metallkorrosion in Innenräumen’, in *Materialkorrosion durch Luftverunreinigung*, Tagung Köln, 17.–19.10.1984 (VDI-Kommission Reinhaltung der Luft. Düsseldorf, 1985), ss. 83–94 (VDI-Berichte. 530); S. Fitz, E. Fitz-Ulrich, G. Frenzel, R. Krüger, H. Kühn und E. Schmidt, *Die Einwirkungen von Luftverunreinigungen auf ausgewählte Kunstwerke mittelalterlicher Glasmalerei* (Berlin, 1984); D. Camuffo und A. Bernardi, ‘Microclimate-induced weathering on the Sistine Chapel’, *European Cultural Heritage. Newsletter on Research* 2.1 (Jan. 1988), ss. 36–42; D. Camuffo und A. Bernardi, *Analisi microclimatiche al Cenacolo Vinciano*, Bollettino Geofisico 14.3 (Dic. 1991); D. R. Fuchs und J. Leissner, *Environmental monitoring using Glass Sensors: Relevant Features for small-scale mapping at Monuments*, 3rd International Conference on Non Destructive Testing (Viterbo, 1992).

<sup>7</sup> H. Glashoff, ‘Möglichkeiten der Datenorganisation und Wissenschaftsdokumentation am Beispiel des Pilotprojektes “Wandmalerei-Schäden und ihre Ursachen”’, *Restaurierung von Kulturdenkmälern. Beispiele aus der niedersächsischen Denkmalpflege* (Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen. Beih. 2) (Hameln, 1989), ss. 21.

<sup>8</sup> Inzwischen ist es gelungen, wichtige Einzelprobleme einer Lösung zuzuführen. Dies hat z. B. das Kolloquium ‚Denkmalpflege und computerunterstützte Dokumentation und Information‘ in Stuttgart, 1.–2.12.1992, beispielhaft gezeigt. Vgl. hierzu: *Denkmalpflege und computergestützte Dokumentation und Information*, Dokumentation der Tagung des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz in Zusammenarbeit mit der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland und dem Informationszentrum RAUM und BAU der Fraunhofer-Gesellschaft 1. und 2. Dezember 1992 in Stuttgart (Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz. 44).

Bei historischen Kulturgütern verhält es sich wie in der Medizin: Auch bei ihnen hängt die Therapie ganz entscheidend von einer sorgfältigen Anamnese und Diagnose ab – irreparable Langzeitschäden sind die Folgeerscheinungen von Maßnahmen, die mangelhaft eingeleitet und weitergeführt worden sind.

Historische Wandmalereien sind komplizierte Verbundsysteme. In der Regel gestalten sich Konzipierung und Durchführung einer systematischen Maßnahmenkette bei der Objektbetreuung daher außerordentlich schwierig. Es muß das spezifische Schadenspotential des jeweiligen Kulturdenkmals, seiner Umgebung und seiner Umwelteinflüsse berücksichtigt werden. Dabei sind sehr heterogene Informationen zu erfassen, auszuwerten, zu vernetzen und nach Interpretation in Therapiekonzepte umzusetzen.

Die wichtigsten Informationsträger sind:

1. visuelle Informationen: Fotos, Bestandspläne, Kartierungsunterlagen usw.
2. Textinformationen: Zum Bau, zu den Wandmalereien, zur Phänomene-

---

Anregende Impulse vermittelten die Fachtagungen 1993 und 1994 des Rheinischen Amts für Denkmalpflege zum Thema: EDV in der Denkmalpflege (vgl. dazu auch: 'Tagungsbericht, Pulheim—Abtei Brauweiler. Fachtagung: EDV in der Denkmalpflege', *Denkmalpflege im Rheinland* Nr. 2. (1994), ss. 65–72. Wichtige Vorarbeiten leistete 1990 unter anderem auch die Arbeitsgruppe ‚Bestandsaufnahme‘ des BMFT-Verbundprojektes ‚Steinzerfall‘. Vgl. außerdem: *Dokumentation in der Restaurierung. Akten der Vorträge der Tagung in Bregenz 23.–25. November 1989* (Salzburg, 1994); *Bestandserfassung und Bestandsanalyse an Kulturdenkmalen. 1. Fortbildungsveranstaltung für Restauratoren am 5. März 1993 in Hannover*, Niedersächsisches Landesverwaltungsamt—Institut für Denkmalpflege. Materialien zur Fort- und Weiterbildung.1 (Hannover 1993). Für die Bearbeitung von Kulturgut, vor allem historischer Bausubstanz, sind statistische Erklärungsmodelle (Cluster- und Faktorenanalysen) eine wichtige Interpretationshilfe. Führend auf diesem Gebiet ist das Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Paris. Als visuelle Hilfe bei der Bearbeitung der bedeutenden Wandmalereien in der Franziskanerkirche von Arezzo (Kapellenausmalung von 1452–1466 durch Piero della Francesca) wurde mit gutem Erfolg ein rechnergestütztes Kartierungsverfahren mit einer modifizierten Standardsoftware eingesetzt, das praxisoptimiert ist (den Herren Drs. Mauro Matteini und Arcangelo Moles, die dem Verfasser eine Demonstration am Objekt ermöglichten, sei an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt). Vgl. auch St. Casciu, G. Centauro und M. Chimenti, 'Neue EDV-gestützte Verfahren im Praxiseinsatz—Arezzo (Italien), Franziskanerkirche', in *Kaiserdom in Königslutter*, ss. 113–17; G. Centauro und M. Maffioli, *Un progetto per Piero della Francesca* (Firenze, 1989). Außerdem: S. Beck, C. Temme und H. Rademacher, 'Facility Management als Werkzeug für die Denkmalpflege', in *Kaiserdom in Königslutter*, ss. 88–91; R.-J. Grote, 'Objektdokumentation? Innovative Arbeitshilfen für die Denkmalpflege—EDV und historische Wandmalereien', in *Kaiserdom in Königslutter*, ss. 82–87; H. Gutscher und E. Favre-Bulle, 'EDV-gestützte Dokumentation eines interdisziplinären Restaurierungsprojektes: Die Wandmalereien in der Cluniazenserkirche Romainmôtier (Schweiz)', in *Kaiserdom in Königslutter*, ss. 106–12.

kartierung und zu Analysedaten.

### 3. Analysedaten.

Die Schwierigkeit besteht vor allem darin, daß zahlreiche Informationsträger zueinander in Beziehung gesetzt und vernetzt werden müssen, wobei eine große Zahl von Interaktionen möglich ist, die eigentlich nur EDV-gestützt<sup>9</sup> oder mathematisch-statistisch (wie z.B. durch Cluster- und Faktorenanalysen)<sup>10</sup> ausgewertet werden können:

1. Interaktion der Informationsträger zum Raum.
2. Exakte Zuordnung der Informationsträger zu der zeitlichen Komponente: Die einzelnen Bearbeitungsstufen müssen—vor allem auch bezogen auf frühere Maßnahmen—im Zeitkontinuum multitemporal vergleichbar sein, denn die denkmalpflegerische Betreuung von Wandmalereien ist ein nie endender zyklischer Prozeß. Dessen wichtigste Phasen (Anamnese—Diagnose—Therapie—Monitoring—Qualitätskontrolle) münden schließlich wieder in neue Erhaltungsmaßnahmen—sofern nicht primäre Schadensursachen ermittelt und ausgeschaltet worden sind.
3. Die jeweilige Dokumentation muß daher auf die gleiche Art gewonnen werden, um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten.
4. Schließlich müssen die Interdependenz der Schadensphänomene selbst und deren dynamische Abläufe erfaßt und für Therapiekonzepte sinnvoll miteinander in Verbindung gebracht werden.

## 2.2 Lösungsmöglichkeiten

Der Einsatz der in den letzten Jahren rasch weiterentwickelten innovativen

<sup>9</sup> Erste Erfahrungsberichte über entsprechende Praxisanwendungen des Niedersächsischen Landesamtes für Denkmalpflege u. a. bei R.-J. Grote, V. Stelzer und G. Weinzierl, 'EDV-gestützte Zustandserfassung und Dokumentation', *Bautenschutz und Bausanierung*, 14.8 (1991), ss. 46–49; R.-J. Grote und V. Stelzer, 'Innovative Verfahren bei der Restaurierung von Kulturdenkmälern' in 'Berichte über die Tätigkeit der Bau- und Kunstdenkmalpflege in den Jahren 1989–1990', *Niedersächsische Denkmalpflege* 14 (Hameln, 1992), ss. 36–44 (im folgenden zitiert als *Niedersächsische Denkmalpflege*); R.-J. Grote, V. Stelzer und G. Weinzierl, 'Zustandserfassung: Der Geschichte auf der Spur. Ein EDV-gestütztes Verfahren für historische Baudenkmäler', *Bausubstanz*, 8.10 (1992), ss. 30–33; H. Glashoff, 'Dokumentation und Datenmanagement', in *Forschungsprojekt Wandmalereischäden*, ss. 34–36; R.-J. Grote, 'EDV-gestützte Hilfen für die Bestands erfassung und Zustandsanalyse bei Schäden an Kulturdenkmälern', ebd. ss. 37–40.

<sup>10</sup> H. Glashoff, 'Analytisch-statistische Interpretationshilfen zur Ursachenforschung von Schäden an historischen Wandgemälden', in *Niedersächsische Denkmalpflege*, 14, ss. 45–53.

Techniken und Verfahren, wie z. B. Bilddatenverarbeitung, Multispektralanalyse, CAD und computergestützte Datenvisualisierungs- und Verwaltungstechniken, ermöglicht in vielen Belangen eine sinnvolle Anwendung in der Denkmalpflegepraxis. Im Vordergrund müssen dabei die Möglichkeiten einer straff geplanten, interaktiven Maßnahmenkette bei der Objektbearbeitung stehen. Der Einsatz der Datenverarbeitung bietet die große Chance einer effektiven Verknüpfung so verschiedenartiger Datenträger wie Kartierungen, Textinformationen und Bilder, Messungen und Analysen, um die dringend erforderliche Verbesserung der Zeitabläufe sowie der Bearbeitungsgüte zu erreichen.

Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte<sup>11</sup> sind im Niedersächsischen Landesamt für Denkmalpflege (NLD) die Grundlagen für ein mehrdimensionales, bildbasierendes (rechnergestütztes) Informationssystem geschaffen worden, das gleichermaßen innovative Lösungen für die effiziente Bearbeitung des einzelnen Kulturdenkmals und erste positive Ansätze für einen flächendeckenden Schadensatlas mit kunsthistorischen Beschreibungen für die multidisziplinäre Auswertung enthält. Im Praxiseinsatz konnten inzwischen vielfältige Erfahrungen und weiterführende Anregungen gesammelt werden. Dabei ergab sich als wichtigstes Fazit, daß ein verbindliches Standardverfahren der Objektbearbeitung nicht realisierbar ist, sondern die Dokumentationsmethodik dem spezifischen Anforderungsprofil des jeweiligen Kulturdenkmals adaptiert werden muß.

### 2.2.1 Der Braunschweiger Dom und die Stiftskirche in Königslutter

Als exemplarische Belege können unter anderem die Bestands- und Zustandserfassung der bedeutenden Wandmalereien in der Stiftskirche von Königslutter und der Domkirche in Braunschweig gelten: Kulturdenkmale, deren außerordentlich umfangreiche Ausmalungszyklen eine sehr unterschiedliche Schadensproblematik und Restaurierungsgeschichte aufweisen.

---

<sup>11</sup> Vgl. die entsprechenden Themenschwerpunkte in: *Schäden an Wandmalereien*, sowie: *Forschungsprojekt Wandmalereischäden*; außerdem Anmerkung 9 und R.-J. Grote und P. Königfeld, 'Die Stiftskirche in Königslutter und ihre Ausmalung—Erhaltungsplanungen für ein gefährdetes Kulturdenkmal', *Niedersächsische Denkmalpflege*, 15, ss. 81–94. (Die Methodenplanung wurde während des DBU-Vorprojektes zum Modellvorhaben Stiftskirche Königslutter im Rahmen der innovativen Fortschreibung des Projektantrages inzwischen konzeptionell aktualisiert. Vgl. dort S. Beck und C. Temme, *Möglichkeiten der (EDV-gestützten) Kartierung als ein Teilbereich der Dokumentation bei der Bearbeitung von Objekten*, Report (Hannover: Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege, 1996); D. Pandlowsky, *Innovative Möglichkeiten der EDV-gestützten Daten- und Bildspeicherung*, Report (Hannover: Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege, 1996).

Als erster Einstieg wurde bei beiden eine generalisierende Schadenserfassung gewählt. Die angewandten Verfahren unterscheiden sich wegen der objekt-spezifischen Gegebenheiten jedoch erheblich: In Braunschweig eine Fotodokumentation auf CD-ROM mit rechnergestützter Suche nach restauratorisch-naturwissenschaftlichen und kunsthistorischen Fragestellungen<sup>12</sup>—in Königslutter dagegen eine konventionelle “händische” Phänomenkartierung in Verbindung mit einem (bilddaten-basierten) 3D-Raummodell, das nach entsprechender Praxisoptimierung vor allem der Visualisierung von Wandmalereischäden in Korrelation mit den bauimmanenten Schadensagentien sowie möglicher Umweltbelastungsfaktoren dienen soll.<sup>13</sup>

Die vom NLD konzipierte Arbeitssystematik ist konsequent auf die spezifische Problematik des Ausmalungsprogrammes im Braunschweiger Dom mit dem Ziel maximaler Arbeitseffizienz zur Kostendämpfung abgestimmt. Bereits im Vorfeld der Konzepterstellung gemeinsam mit dem zuständigen Stadtkirchenbauamt durchgeführte Kosten-Nutzenanalysen erwiesen die gewählte Lösung als optimal.

Wesentliches Kennzeichen ist der modulare Aufbau: Die Erfassungssystematik kann als Ganzes oder auch nur in einzelnen Bausteinen zum Einsatz

---

<sup>12</sup> R.-J. Grote, H. Glashoff, G. Drescher und D. Pandlowsky, ‘Die Wandmalereien im südlichen Querhaus des Braunschweiger Doms—aktuelle Befunde und ihre Dokumentation’, *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen*, 15.3–4 (1995), ss. 109–15; R.-J. Grote, H. Glashoff und D. Pandlowsky, ‘Arbeitsökonomie und Kosteneffizienz als Grundlagen denkmalpflegerischer Zielplanung: Die Wandmalereien im Braunschweiger Dom’, in *Kaiserdom in Königslutter*, ss. 92–97. Für großzügige Unterstützung und Förderung seien der Richard Borek Stiftung, dem Braunschweigischen Vereinigten Kloster- und Studienfonds sowie der Domstiftung gedankt, die in Verbindung mit erheblichen Bundes- und Landesmitteln die Durchführung des Projekts ermöglichten. Ganz herzlich bedanken möchte sich der Verfasser auch bei Herrn Dipl.-Ing Norbert Koch sowie Frau Karin Kautzer-Lehmann vom Stadtkirchenbauamt, die über Finanzierungsplanung, örtliche Bauleitung und Koordination aller Beteiligten hinaus mit mannigfachem fachlichen Rat und vielseitiger Hilfestellung ganz erheblich zum Gelingen des Projektes beigetragen haben. Schließlich sei an dieser Stelle dem interdisziplinären Team für die konstruktive Zusammenarbeit im Rahmen der Projektarbeit Dank gesagt.

<sup>13</sup> Ebd. S. Beck, E. Behrens, D. Pandlowsky und C. Temme, ‘Maßnahmenbegleitende Dokumentation—Entwicklung eines Orientierungssystems’, *Kaiserdom in Königslutter*, ss. 14–19; J. Heckes, A. Hornschuch und P. Haferland, ‘Möglichkeiten der Bilddatenverarbeitung, Visualisierungen und Kartierungen auf der Grundlage von Photos mit Standardsoftware’, *Kaiserdom in Königslutter*, ss. 118–21. Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und dem Braunschweigischen Vereinigten Kloster- und Studienfonds sei an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt, die mit erheblichen Fördermitteln das interdisziplinäre Projekt ermöglicht haben. Dank gilt aber auch der Kirchengemeinde und allen übrigen Helfern und Team-Mitgliedern, die mit Rat und Unterstützung zum Gelingen der Untersuchungen beigetragen haben.

kommen. Zur Verknüpfung der verschiedenen Datenträger wurde die Datenverarbeitung so einfach wie möglich konzipiert und praxisoptimiert. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, daß der Zugriff auch auf bewährte "händische" Verfahren jederzeit möglich ist.

Im Braunschweiger Dom handelt es sich um eine restauratorische Schnelleraffassung des sehr umfangreichen Wandmalereibestandes und seiner wichtigsten Schadensparameter. Sie soll einer anschließenden interdisziplinären Bearbeitung die Konzentration auf objektrelevante Schadensbereiche ermöglichen. Korrespondierend mit der Befunderhebung durch szenenbezogene 'Checklisten' wurde als visuelles Medium eine systematische Reihenfotografie gewählt, wobei es sich um mehrere hundert Einzelszenen handelt.

Ihre Einzelsequenzen wurden auf Photo-CD überführt und können mit einer einfachen Datenbank phänomen- und themenbezogen angesteuert werden (Shoebox Photo-Access für Windows/PhotoEdge für Windows). Parallel dazu wurde ein "händisches" Ablagesystem der "Ortho-Fotos" nach Einzelszenen geschaffen. Auch ihnen ist die entsprechende "Checkliste" (also die Erfassungsmaske) des Restaurators jeweils zugeordnet.

In einer zweiten Bearbeitungsphase wurden die Befunde auf Übersichtszeichnungen (layer auf Transparentfolien) übertragen und zusammenfassend im szenischen Kontext visualisiert. Damit ist es möglich, die Schadensverteilung und andere objektrelevante Phänomene wie z. B. den Anteil der Originalsubstanz an Wandmalerei mit dem Komplexitätsgrad der Schäden quantifizierend in einem ersten Überblick zu erfassen und zu korrelieren.

Cluster- und Faktorenanalysen (Algorithmus nach WARD, Euklidische Distanz, Software SYSTAT) dienten als statistische Auswertungshilfen, um die dominanten Schadensbereiche aus den sekundären herauszufiltern und damit später den gezielten Einsatz eines interdisziplinären Untersuchungsteams zu ermöglichen.

## 2.2.2 Forschungsprojekt 'Wandmalerei-Schäden'

Auch im Rahmen des vom Bundesminister für Forschung und Technologie finanzierten Forschungsprojektes "Wandmalerei-Schäden" wurde eine innovative Arbeits- und Dokumentationssystematik realisiert (die allerdings inzwischen erheblich verfeinert und praxisoptimiert worden ist).<sup>14</sup> Dabei konnten ver-

<sup>14</sup> Siehe auch VDI-Richtlinie 3798 „Untersuchung und Behandlung von immissionsgeschädigten Werkstoffen insbesondere bei kulturhistorischen Objekten“; P. W. Mirwald, 'Erhebungen, Situationsstudien und Handlungsorganisation im Kooperationsverbund aller an Untersuchungen und Erhaltungsmaßnahmen am Baudenkmal beteiligten Stellen', *Bautenschutz und Bausanierung*, Sonderh (1989), ss. 16–20; H. Glashoff, 'Möglichkeiten der Datenorganisation und Wissenschaftsdokumentation am

schiedene EDV-gestützte Verfahren piloterprobt werden. Ziel war die Entwicklung eines ganzheitlichen modularen Denkmalinformationssystems, das den jeweiligen objektspezifischen Gegebenheiten flexibel angepaßt werden kann.

Der Projektverlauf war geprägt von der Bewältigung einer übergroßen Fülle heterogener Daten. Dies zeigte sich z.B. schon bei ganz normalen restauratorischen oder naturwissenschaftlichen Phänomenkartierungen<sup>15</sup>—wobei die “Kartierung” allerdings nur als Modul des umfassenderen Denkmalinformationssystems aufzufassen ist. Als wichtige visuelle interdisziplinäre Erkennungs- und Entscheidungshilfe durch Schichtung von Transparentfolien in Kartierenebenen (layer) konzipiert, war bei komplexen Schadensbereichen die beabsichtigte Ablesbarkeit mit herkömmlichen Verfahren in der Regel nicht mehr zu bewältigen.

Es ergab sich daher zunehmend, daß die Entwicklung rechnergestützter Verfahren zur Bewältigung der bei der Erfassung, Analyse und Dokumentation der Wandmalereischäden progressiv wachsenden Datenfülle unabdingbar war.

---

Beispiel des Pilotprojektes “Wandmalereischäden und ihre Ursachen”, in *Restaurierung von Kulturdenkmalen* (Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen. Beih. 2: Hannover, 1989), ss. 21–24; S. Beck, U. Geruschkat und H. Glashoff, ‘Foto und Raumkoordinate als Hilfsmittel der Befunddokumentation’, in *Schäden an Wandmalereien*, ss. 16–18; H. Glashoff, ‘Dokumentation und Datenmanagement’, in *Forschungsprojekt Wandmalerei-Schäden*, ss. 35–36.

<sup>15</sup> Speziell zum Kartieren und anderen visuellen Arbeitshilfen vgl. B. Fitzner und R. Kownatzki, ‘Kartierung und empirische Klassifizierung der Verwitterungsformen und Verwitterungsmerkmale von Natursteinen an geschädigten Bauwerkspartien’, *Bautenschutz und Bausanierung*, Sonderh. (1989), ss. 21–25; B. Fitzner und R. Kownatzki, ‘Bauwerkskartierung’, *Der Freiberufliche Restaurator*, H. 4. 1990, ss. 25–40; ‘Die Dokumentation in der Bestandsaufnahme—Untersuchung, Bewertung und Restaurierung denkmalpflegerischer Objekte’, Bericht der Arbeitsgruppe ‘Bestandsaufnahme’ des BMFT-Projekts, Steinzerfall’, *Bautenschutz und Bausanierung*, Sonderh. (1990); ferner: H. F. Reichwald, ‘Möglichkeiten der zerstörungsfreien Voruntersuchung am Beispiel der ottonischen Wandmalereien in St. Georg Reichenau-Oberzell’, in *Historische Technologie und Konservierung von Wandmalereien* (Bern, 1985), ss. 106–31; G. Drescher und M. K. Jensen, ‘Schadenskartierungen. Fallbeispiel Ev.-ref. Kirche in Krummhörn-Eilsum’, in *Forschungsprojekt Wandmalerei-Schäden*, ss. 88–92; vgl. auch H. P. Autenrieth und P. Turek, ‘Modelle für eine grafische Inventarisierung mittelalterlicher Wandmalereien’, in *Schäden an Wandmalereien*, ss. 27–32; S. Beck, ‘Computer Aided-Design (CAD) als Arbeitsmittel’, *Niedersächsische Denkmalpflege*, 14, ss. 53–62; U. Geruschkat und H. Glashoff, ‘Visuelle Objektdokumentation’, in *Schäden an Wandmalereien*, s. 15; T. Trapp, ‘Optische Methoden der Schadenserfassung’, in *Forschungsprojekt Wandmalereischäden*, ss. 45–48; S. Beck, ‘Die Kartierung als Mittel der Bestandsaufnahme’, in *Forschungsprojekt Wandmalerei-Schäden*, ss. 41–44; D. Gadesmann und P. Königfeld, ‘Möglichkeiten einer “einfachen Phänomenkartierung” als Grundlage der Schadensanalyse-Schloßkapelle in Celle’, in *Kaiserdom Königslutter*, ss. 102–05; zum aktuellen Entwicklungsstand vgl. z. B. den Beitrag von Jürgen Heckes et al. Anm. 13.

Das Denkmalinformationssystem wurde an ausgewählten Objekten bzw. Objektbereichen erfolgreich piloterprobt. Eine Einsatzoptimierung konnte allerdings nicht mehr erfolgen, da inzwischen das Forschungsprojekt seinen Abschluß gefunden hatte.

Da bei denkmalpflegerischen Maßnahmen viele Beobachtungen, Untersuchungen und Messungen durchzuführen sind, erwies sich die Einführung eines definierten dreidimensionalen Koordinatensystems in Verbindung mit einer relationalen Datenbank als sinnvoll. Die exakte Zuordnung der vielfältigen interdisziplinären Aktivitäten zu Koordinaten ermöglichte eine gemeinsame Basis für die spätere Auswertung, Dokumentation und Archivierung.

Die Erfassung des Baudenkmals erfolgte innen und außen dreidimensional über Tachymetrie. Markante Meßpunkte, die das Baudenkmal in seiner Geometrie beschreiben, wurden in Fotos eingetragen. Somit war eine eindeutige Identifizierung der Punkte bei der nachfolgenden Rekonstruktion durch CAD gegeben. Bei Bedarf können über das CAD-System Längs- und Querschnitte sowie 3D-Gittermodelle erzeugt werden.

Als Grundlage für die anschließende Kartierung von Zuständen und Schadensbereichen dienten herkömmliche Fotografien. Bei Wandmalereien ist es dringend erforderlich, daß diese Einzelbilder zusammenhängende Gemäldepartien erfassen. Sie sollen möglichst frontal zur Wand aufgenommen werden, um starke Verzerrungen zu vermeiden. Durch Überdeckung der Einzelbilder wurde ein 'Fotomosaik' zusammengefügt. So war es möglich, alle Bereiche des Baudenkmals lückenlos abzubilden.

Die Einzelbilder wurden sodann nach ihren Koordinaten erfaßt und den dreidimensionalen Raumkoordinaten des Baudenkmals zugeordnet. Über fotogrammetrische Stereoaufnahmen der Wandpartien konnten die Ecken und Mitten der Einzelbilder dreidimensional bestimmt werden. Dabei dienten die über die Vermessung (Tachymetrie) aufgenommenen Punkte als Paßpunkte für die Fotogrammetrie. Damit war der Bezug zwischen den zweidimensionalen Bildkoordinaten und den dreidimensionalen Raumkoordinaten hergestellt und jeder Punkt eindeutig lokalisierbar.

Für die Zustands- und Schadenserfassung wurden im Projektverlauf verschiedene Verfahren getestet. Im Vordergrund stand die Erarbeitung EDV-gestützter Kartierungsunterlagen als Grundlage für weiterführende Auswertungen.

Zunächst wurden videografische Aufnahmen erstellt, digital aufbereitet und als Einzelbilder auf einem Laptopbildschirm dargestellt. Eine entsprechende Software sollte die Phänomenkartierung direkt vor der Wandmalerei auf den Hintergrundbildern des Laptops ermöglichen. Wegen der technischen Grenzen des Laptops wurde die Realisierung dieses Vorhabens allerdings dann zurückgestellt.

Als Alternativlösung wurde versucht, ein eigenständiges Kartierungsprogramm zu entwickeln, das auf kalibrierten, nicht digital vorliegenden Einzelfotos basierte. Dabei fehlte allerdings der direkte Bezug von Bearbeitungsfläche und Kartierung: Das Foto liegt separat auf einem Digitalisiertablett, während die

Kartierung isoliert und ohne bildlichen Bezug auf dem Bildschirm erscheint. Ein weiterer Nachteil bestand in den hohen Entwicklungskosten einer speziellen Kartierungssoftware, die menügesteuert auch von Computerlaien angewendet werden kann.

Daher erschien es sinnvoll, bereits auf dem Markt erhältliche CAD-Standardsoftware entsprechend den spezifischen Anforderungen zu modifizieren und anzuwenden. Auch dabei wurde ein auf dem Digitalisiertablett liegendes, kalibriertes—möglichst orthogonales—Einzelfoto als Kartierungsunterlage verwendet. Als Orientierungshilfen wurden Strichzeichnungen des entsprechenden Fotos erstellt und auf den Bildschirm eingeblendet, um eine Lokalisierung der zu kartierenden Phänomene zu ermöglichen. Als großer Vorteil erwies sich die Flexibilität des Verfahrens: Die Kartierungen lassen sich entweder konventionell vor Ort anfertigen und anschließend stationär weiterbearbeiten oder unmittelbar am Objekt in den Laptop eingeben.

Die erfaßten Bildinformationen wurden über eine Schnittstelle in einer relationalen Datenbank abgelegt und verwaltet. Die Datenbank korrelierte die Eintragungen der Zustands- oder Schadensphänomenerfassung sowie der textlichen Beschreibung miteinander, da sie über das Koordinatensystem miteinander verbunden sind. Fotos, Videoaufnahmen usw. können leicht über die Datenbank diesen Eintragungen zugeordnet werden. Dadurch war sowohl ein schnelles Auffinden aller gespeicherten Dokumente wie auch ein jederzeitiges Reproduzieren der Informationen und eine erleichterte Kommunikation mit anderen Projektteilnehmern, aber auch ein langfristiges, einheitliches und sicheres Abspeichern der Informationen gegeben. Bei zusätzlichem Ablegen der Fotos auf langzeitspeichernde Bildplatten könnten diese Fotoinformationen zu jedem beliebigen Befund und zu jedem späteren Zeitpunkt wieder auf dem Bildschirm dargestellt werden. Damit ließe sich in Form eines späteren Monitoring eine Langzeit-Zustands-/Schadensbeobachtung durchführen.

### **2.2.3 Fotografische/visuelle Bestandserfassung in Haus Altenkamp**

#### *Problemstellung und Auswahl der Bearbeitungstechniken*

Wegen der großen kunst- und kulturgeschichtlichen Bedeutung der Wandmalereien werden zusätzlich zu den konventionellen Verfahren der Bestands- und Zustandserfassung/Dokumentation weitere innovative Lösungen pilotiert, die qualifiziertere Erkenntnisse und Entscheidungshilfen ermöglichen. Ein Bearbeitungsschwerpunkt ist daher der Einsatz der Bilddatenverarbeitung zur Schadensfeststellung und als Monitoringsystem in Verbindung mit multispektralen Aufnahme- und Auswertungstechniken. Angelehnt an Verfahren aus der Fernerkundung, die bereits seit geraumer Zeit multispektral zerlegte Bilddaten von Satellitensystemen zur Flächendetektion, -überwachung und kartie-



*Fig. 1. Haus Altenkamp, Ansicht von Westen. © Landesamt für Denkmalpflege, Hannover*

rung nutzt, konnten an Ausmalungsbeispielen (Stiftskirche Königslutter<sup>16</sup> und Herrenhaus Altenkamp [fig. 1, 10, plate 25]<sup>17</sup>) entsprechende Verfahren zur Phänomenerkennung zielgerichtet modifiziert und eingesetzt werden. Eine Kombination aus analogen fotografischen Aufnahmeverfahren und digitalen Bearbeitungstechniken sollte an diesen Beispielen eine Arbeitsmethodik aufzeigen, die einerseits optimierte Daten für eine manuelle Kartierung liefert, darüber hinaus jedoch die Bilddaten in einem Monitoringsystem verwaltet. So können zum Beispiel die multispektralen Bildfolgen eines Motives durch Mustererkennungsalgorithmen ausgewertet und nach Schadensbildern abgefragt werden. Wurden an einer Wandmalerei zum Beispiel in der Vergangenheit Ausmalungsbereiche nachbearbeitet oder restauriert, so kann eine komplexe Analyse der Aufnahmen dies dokumentieren, obwohl für das unbewaffnete menschliche Auge keine Veränderungen feststellbar sind. Eine *a priori* Analyse von Schäden zur Vorbereitung restauratorischer Maßnahmen wird so ermöglicht.

<sup>16</sup> Vgl. Heckes et al. Anm. 13.

<sup>17</sup> Herrn Jürgen Heckes, Deutsches Bergbau-Museum/Forschungsbereich Informationssysteme, sowie Herrn Maro Moskopp, Luftbild Eifel seien an dieser Stelle für mannigfachen fachlichen Rat und vielseitige Hilfestellung ganz herzlich gedankt.

### *Einleitung*

“Unser so beschäftigtes Jahrhundert hat selten Zeit zum Lesen, immer aber Zeit zum Sehen” (Theophile Gautier, 1858).

Eventuell beeinflußt durch diese Erkenntnis hat das technologisierte 20. Jahrhundert zahlreiche ‘Seh-Hilfen’ in Form von fotografischen Abbildungstechniken geschaffen. Eine gezielte Auswahl dieser Techniken, abgestimmt auf die Möglichkeiten der digitalen Datenverarbeitung, führt in einigen Wissenschaftsbereichen sogar dazu, daß Computer gut genug sehen können, um den Menschen ablesbare Antworten auf spezielle Fragestellungen geben zu können.

Als ein Beispiel seien die Geowissenschaften zu nennen, die seit geraumer Zeit multispektral zerlegte Bilddaten von Satellitensystemen zur Flächen-detection, -überwachung und -kartierung nutzen.<sup>18</sup> Speziell entwickelte Bildverarbeitungsalgorithmen können hierbei durch zielorientierte Kombinationen der Eingabe-Bilddaten neue leicht interpretierbare Ergebnisse schaffen.<sup>19</sup>

Motiviert durch diese positiven Ergebnisse wurden neben der konventionellen Dokumentation der Wandmalereien am Beispiel des Entrées des Hauses Altenkamp innovative Ansätze einer erweiterten fotografischen Abbildungsreihe zur besseren Unterstützung und Rationalisierung der restauratorischen Arbeiten verfolgt.

### *Erweiterte fotografische Dokumentation der Wandmalereimotive*

Vor allen weiteren Maßnahmen wurden die Wandmalereimotive flächendeckend mit einer Mittelformat-Fachkamera auf Schwarz/Weiß Film abgebildet. Gemäß einer im Vorfeld erstellten Einteilungsmatrix wurden Ausschnittvergrößerungen sämtlicher Bildszenen als Basis für eine manuelle Kartierung angefertigt (fig. 2, plate 20).

Zusätzliche photogrammetrische Meßbilder und eine geringe Anzahl von geodätisch bestimmten Meßpunkten stellten eine geometrische Grundlage für die Herstellung von maßstäblichen digitalen Kartierungsunterlagen dar.<sup>20</sup>

Mit dem Ziel einer annähernd wertneutralen fotografischen Farbaufzeichnung wurden die Wandmalereien durch RGB-Farbauszüge (Rot, Grün, Blau) abgebildet. Diese werden durch Absorptionsfilter realisiert, die nur den Spektralanteil ihrer Eigenfarbe passieren lassen. Die Farbauszüge werden sequentiell auf Schwarz/Weiß Film belichtet und können durch additive Farbmischung der Primärfarben zu Reproduktionszwecken zu einem Farbbild zusammengesetzt werden (fig. 3, plate 21). Diese, gegenüber der herkömmlichen Mehrschichtenfarbfilm-Belichtung aufwendige, jedoch seriösere Art der Farbaufzeichnung erfordert die Einhaltung und Kontrolle verschiedener Aufnahmeparameter, die ständig eine Anpassung auf den jeweiligen Stand der Entwicklung im fotografisch-technischen Bereich verlangen.

---

<sup>18</sup> *Manual of Remote Sensing*, 1 & 2 (American Society of Photogrammetry, 1983).

<sup>19</sup> M. Kappas, *Fernerkundung nah gebracht* (Bonn, 1994).

<sup>20</sup> Vgl. Heckes et al. Anm. 13.

Der Hauptvorteil dieses Verfahrens besteht jedoch darin, daß unkontrollierte Farbvermischungseffekte, die bei der konventionellen Farbabbildung unvermeidbar sind, nahezu ausgeschlossen werden können.<sup>21</sup>

Zur Normierung und Kontrolle der Aufnahmeserien wurde jeweils ein durch spektrale Messung erfaßtes Testobjekt aus 4 Graufeldern in jede Aufnahme integriert.

Für ausgewählte Testflächen mit typischen Schadensphänomenen wurden für eine erweiterte Differenzierung der spektralen Eigenschaften der Wandmalerei Zwischenkanäle im sichtbaren Bereich (Cyan und Orange) und in den angrenzenden nicht sichtbaren Bereichen (Ultraviolett und Infrarot) installiert (fig. 4). Diese Zusatzkanäle sind eine wertvolle und unverzichtbare Hilfe zur Aufdeckung minimaler unterschiedlicher spektraler Reize, die jedoch den gleichen Farbeindruck auslösen. Multitemporale normierte Multispektral-Aufnahmen könnten so z.B. das Verblassen der Farbe oder Retuschen deutlich sichtbar machen.

Eine Wiederholung der Aufnahmeserien im Haus Altenkamp ist nach Abschluß der Restaurierungsarbeiten vorgesehen.

#### *Digitale Dokumentation*

Als Basis für eine digitale Befundkartierung wurden die fotografischen analogen Abbildungen durch einen kontrollierten Scavorgang gerastert. Der Feinheitsgrad der Digitalisierung wurde so gewählt, daß Flächen mit einer Auflösung von 1 mm<sup>2</sup> wiedergegeben wurden. Zur Schaffung eines einheitlichen Bezugsystems wurden die Bilder eines spektralen Bandes digital entzerrt und zu einem Bildplan montiert. Auf diesen Plan wurden anschließend die weiteren Bänder pixelgenau eingepaßt.

Gleichzeitig bildet dieser Bildplan die Grundlage für die Einarbeitung der manuellen Kartierung, die auf Kopien der Bildpläne durch Umfahren der Schadensmerkmale mit Farbstiften durchgeführt wurde. Die digitalen Kartierungen wurden nach Regeln, wie sie aus Geographischen Informationssystemen<sup>22</sup> bekannt sind, geometrisch und thematisch strukturiert und mit einem geeigneten CAD-Programm digitalisiert (fig. 5). Sämtliche Elemente der manuellen Kartierungsfolien wurden in Form von Flächenelementen übertragen und durch Definition der Umgrenzungslinien durch geschlossene Polylinien gezeichnet. Die visuelle Differenzierung fest eingrenzbarer und nicht eingrenzbarer Bereiche erfolgte über unterschiedliche Linientypen. Die Visualisierung der Befunde innerhalb einer Kartierungsthematik wurde durch variierende Schraffuren differenziert. Innerhalb des digitalen Informationssystems werden die Bereiche durch eindeutige numerische Identifikationen verwaltet, die, gesteuert durch

<sup>21</sup> H. Frieser, *Photographische Informationsaufzeichnung* (München, Wien, London, New York, 1975).

<sup>22</sup> R. Bill und D. Fritsch, *Grundlagen der Geo-Informationssysteme* (Heidelberg, 1994).



Fig. 4. Haus Altenkamp, Entrée, Wandmalerei-Ausschnitt der Südwand, UV-Fluoreszenz-Aufnahme. © Landesamt für Denkmalpflege, Hannover



Fig. 5. Das Bild entsteht durch Beleuchtung mit 320-380 nm und durch Filterung mit 440-660 nm. Die Verwendung unterschiedlicher Farben bei früheren Restaurierungen der linken Figur wird deutlich sichtbar. © Landesamt für Denkmalpflege, Hannover



*Fig. 6. Haus Altenkamp, Entrée, Bildplan der Südwand, überlagert mit Thermo-bild. © Landesamt für Denkmalpflege, Hannover*

Datenbankabfragen, numerische und statistische Auswertungen über das Schadenspotenzial durchführen können.

Für eine integrale Objekterfassung, die auch räumliche Komponenten wie z.B. Raumklima berücksichtigt, können die Daten auch 3-dimensional bearbeitet werden (fig. 6).

Neben der Übertragung der Ergebnisse der konventionellen manuellen Kartierung vor Ort wurde unter Einbeziehung der digital aufbereiteten multispektralen Bildserien die Möglichkeit der stationären digitalen Kartierung—einer Kartierung ohne ständigem Zugang zum Objekt, ausschließlich anhand der Bilddaten—erprobt.

Zusammenfassend ist nach Abschluß der interdisziplinären Arbeiten festzuhalten:

1. Die multispektrale Aufnahmetechnik ermöglicht eine gute Visualisierung vorhandener Schadensbilder. Alle kartierten Schadensbilder konnten in den Bildern lokalisiert werden. Eine Vielzahl von Schäden kann einfacher, genauer und schneller in Bildern kartiert werden als manuell vor Ort (figs. 7, 8, 9, plates 22, 23, 24).
2. Die manuelle Kartierung kann nur eine erste Übersicht der Schäden darstellen. Eine Detailkartierung ist mit Bildverarbeitungstechniken wirtschaftlicher zu lösen.
3. Eine langfristige, platzsparende Archivierung der digitalen Kartierung ist nach heutigem Stand der Technik möglich. Der Zugriff und die

- Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bleibt dabei stets gewährleistet.
4. Im Rahmen eines langfristigen Wartungskonzeptes können bei zielgerichteter Weiterentwicklung Kartierungen ohne die "Handschrift" wechselnder Bearbeiter realisiert werden.

#### *Computergestützte automatisierte Dokumentation*

Als Fernziel der multispektralen Datenerfassung und Auswertung wurde versucht, ein typisches Schadensbild durch automatisches Bildverstehen zu erkennen. Die Bilder werden hierbei aufgrund ihrer Rasterung als eine Vielzahl von Flächenelementen aufgefaßt, wobei partiell unterschiedliche physikalische Eigenschaften des abgebildeten Objektes durch variierte Reflexionen in den spektralen Bändern aufgeschlüsselt werden. Somit ergeben sich pro Flächen-einheit mehrere Meßwerte, die zu einem n-dimensionalen Punkt zusammengefaßt werden. Durch mathematische Ähnlichkeitsbetrachtungen der N-Tupel können so Punktmengen (Cluster) gebildet werden.

Eine Definition der Auswerteschlüssel und ihrer mathematischen Definition, einhergehend mit der Interpretation der maschinell erkannten Flächen, wird sich nur durch enge interdisziplinäre Zusammenarbeit von restauratorisch, fototechnisch und naturwissenschaftlich geschulten Fachleuten erfolgreich realisieren lassen.

Obwohl der Aufwand zur Objektabbildung durch multispektrale Aufnahmserien zunächst nicht unerheblich ist, kann diese Vorgehensweise thematische Kartierungen ohne menschliches Eingreifen ermöglichen. Die Objekt-informationen müssen dazu in relevanten spektralen Bereichen optimiert erschlossen werden, wobei die technische Realisierung der spektralen Bänder stets innerhalb eines vertretbaren technischen Aufwandes bleiben muß. Ein großer Vorteil der Objektdokumentation durch die erweiterten fotografischen Aufnahmen besteht bereits heute schon darin, daß durch Einzelbetrachtung, aber besonders auch durch Synergieeffekte bei der digitalen Kombination von spektralen Bändern Schadensphänomene deutlicher sichtbar werden.

Somit kann die Multispektralauswertung eine Methode der Zustandserfassung werden, die in Teilen stationär durchgeführt werden kann und Kosten, z.B. für Gerüstzeiten, minimieren könnte.

Ein weiterer Vorteil besteht in der Möglichkeit der direkten digitalen Kartierung ohne den Umweg des 'Abzeichnens' der manuellen Kartierung.

Ein bereits bestehendes Schadenglossar wird zu einer Dokumentations-vereinheitlichung führen; es ermöglicht, das Schadenspotential eines Einzel-objektes—aber auch das von verschiedenen Objekten—in zeitlichen Verlauf zu vergleichen.

### 3. Ergebnisse

Die Modellversuche erbrachten zahlreiche Anregungen, die als Bestandteile EDV-gestützter Verfahren bereits im Vorfeld wichtiger Restaurierungen in die Praxis überführt werden sollten. In allen Projekten des NLD hat sich nachdrücklich gezeigt, daß vor jeder wissenschaftlich fundierten Untersuchung zunächst eine generalisierende Analyse des Baues und aller auf ihn einwirkenden, meist sehr heterogenen Schadensfaktoren unerlässlich ist ("integrale Objekterfassung"). Erst nach dieser langfristig zu terminierenden Vorlaufphase ist es sinnvoll, ein interdisziplinäres Untersuchungsteam gezielt an das Baudenkmal heranzuführen und die erheblichen personellen, apparativen und finanziellen Bindungen effektiv zu strukturieren.

Folgende wichtige Bearbeitungsschritte wurden inzwischen realisiert bzw. befinden sich im Projektstadium:

1. Vollständige geometrisch und farblich richtige Abbildung der Wandmalereien und ihrer Schäden als Grundlage für die händische interdisziplinäre Schadenskartierung sowie als Basis für die digitale rechnergestützte Weiterbearbeitung zu einem entsprechenden Denkmalinformationssystem.
2. Das Denkmalinformationssystem ist modular aufgebaut: Es kann geometrische Informationen, Bilder und Textinformationen speichern und verarbeiten. Es wird für die aktuelle Bestands- und Zustandserfassung sowie für alle weiteren Bearbeitungsschritte dringend benötigt. Die Einarbeitung und das Abrufen der Daten erfolgt rechnergestützt unter Einsatz von layer-Bildung, ihre Ablage über Fenstertechnik in einer relationalen Datenbank.
3. Die Kartierung von Zustandsmerkmalen am Objekt erfolgt nicht mehr wie bisher von Hand (z.B. mit Buntstiften auf Transparentpapier über einem Foto), sondern direkt am Rechner, wobei ein beliebig wählbarer Bildausschnitt der Wandmalerei als Hintergrundinformation auf dem Bildschirm erscheint. Vor diesem Hintergrundbild können dann direkt auf dem Bildschirm mit einer entsprechenden Software bestimmte Bildinhalte interpretiert und markiert werden. Über Legenden und speziell zu erstellende Menues sollen die erfaßten Zustandsmerkmale mit Kennungen versehen und in Ebenentechnik (layers) rechnerintern abgespeichert werden. Auf diese Weise können in einem nachfolgenden Schritt verschiedene Zustandsmerkmale miteinander korreliert werden. Es werden damit Interpretationshilfen für eine interdisziplinäre Ursachenforschung der verschiedenen beteiligten Fachleute und erste Hinweise auf Schadensursachen gegeben. Außerdem lassen sich die rechnergestützt erfaßten Kartierungsdaten über Raumkoordinaten einem 3D-Modell zuordnen und in Verbindung mit einer Datenbank langfristig

- und mit schnellem Zugriff abspeichern.
4. Das bisher entwickelte Verfahren der Zustandskartierung und Dokumentation, das modularartig aufgebaut ist und dessen Komponenten—dem objektspezifischen Anforderungsprofil entsprechend—austauschbar bzw. entbehrlich sind, kann zu einem integralen System der Objekterfassung ausgebaut werden, um im Rahmen einer Erstdiagnose generalisierende Analysen des Objektes mit allen auf dieses einwirkenden, meist sehr heterogenen Merkmalen und Schadensfaktoren durchführen zu können. Dazu sollen als weitere Module generalisierende Detektionsverfahren zur Erfassung der flächenhaften Verteilung z. B. von Mauerfeuchte, Salzen, Temperaturparametern usw. am Objekt und im Raum (Thermografie, Elektrowiderstands- und Kapazitätsmessungen, Elektromagnetische Reflexion (EMR), Radar- und Seismikverfahren usw.) eingesetzt werden, um damit ggf. aktive und inaktive Schadenszonen herauszuarbeiten.
  5. Die wichtigsten Parameter der gewonnenen Daten könnten in ein vereinfachtes, über CAD erstelltes 3D-Gittermodell oder über ein durch Bilddatenbearbeitung generiertes 3D-Modell überführt werden. Damit lassen sich anschaulich Bereiche mit Schadenshäufungen relativ genau in ihrer räumlichen Verteilung erkennen und auch ggf. ‘Altschäden’ (durch Akten-, Archivauswertungen, Altfotos) mit den aktuellen Befunden korrelieren. In Verbindung mit dem 3D-Modell können vor allem bei komplexen mehrräumigen Bauwerken sämtliche zu einem Objekt gehörende Informationen raumweise strukturiert (‘Raumbuch’) abgelegt werden.
  6. Nach einer ersten Schadenserfassung (‘Phänomenkartierung’) und flächenhaft angelegten interdisziplinären Tastuntersuchungen sollen an schadensrelevanten Referenzflächen analytisch-statistische Interpretationshilfen zur Ursachenforschung von Schäden (Faktoren- und Clusteranalysen<sup>23</sup>) angewendet werden. Sie sollen eine Trennung von dominierenden und zufälligen Symptomen an potentiellen Schadensstellen erreichen und damit eine Entwicklung von Strategien einleiten, außerdem die Beobachtungen und Analysen zunächst auf ein nötiges Minimum reduzieren. Somit wäre es möglich, den analytischen Aufwand vor Ort erheblich zu straffen und trotzdem erste Hinweise auf Schadensursachen zu geben, typische Symptomkombinationen/Interaktionsketten modellhaft aufzuzeigen und damit das Erarbeiten von Interpretationshilfen für die interdisziplinäre Ursachenforschung zu erleichtern.
  7. Insgesamt dient die systematisch strukturierte Maßnahmenkette einer fundierten Grundlagenermittlung und damit der effektiven Ausführungsplanung und -überwachung bis hin zur Qualitätskontrolle.

---

<sup>23</sup> Vgl. Glashoff Anm. 10.

#### *4. Zusammenfassung*

Insgesamt bilden die zum Teil innovativen rechnergestützten Verfahren des NLD der Anamnese und Schadenserstdiagnose sowie Dokumentation ein integrales System, dessen Komponenten—dem objektspezifischen Anforderungsprofil entsprechend—austauschbar bzw. entbehrlich sind. Der Schwerpunkt bei wichtigen Kulturdenkmalen sollte jedoch auf einer ganzheitlichen Anwendung liegen.

Selbstverständlich können die im Verlauf der Forschungsprojekte entwickelten oder geplanten rechnergestützten Verfahren der Visualisierung und Dokumentation zunächst nur vorläufige Interpretationshilfen geben. Sie sind als Service-Leistungen aufzufassen, die einem interdisziplinären Untersuchungsteam den Einstieg in vertiefende Zustands- und Schadenserfassungen erleichtern und erste Hinweise für Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen ermöglichen. In diesem Zusammenhang könnten die entsprechenden Verfahren der Schadenserstdiagnose—in einer zweiten Bearbeitungsstufe vor allem auf objektrelevante Referenzflächen konzentriert—zunehmend an Bedeutung gewinnen. Dabei muß jedoch immer im Vordergrund stehen: mit möglichst geringem finanziellen und dokumentarischen Aufwand komplexe Datenstrukturen schnell und präzise zu erfassen, zu korrelieren, zu einem Therapie- und Wartungskonzept auszuwerten sowie—unter dem Gesichtspunkt multitemporaler Reproduzierbarkeit für qualitätssichernde Monitoringmaßnahmen—langfristig abzuspeichern. Dabei sollten nach Möglichkeit selbstverständlich auch die bewährten ‘händischen’ Verfahren mit einer schrittweisen Überführung in rechnergestützte Hilfen der Bestandserfassung und -sicherung zum Einsatz kommen. Daß eine ständige Pflege und Aktualisierung dieser hochentwickelten Arbeitsinstrumente durch gründlich ausgebildetes, nach mehrjähriger Erfahrung mit den spezifischen Erfordernissen der Denkmalpflegepraxis vertrautes Fachpersonal—wie diplomierte Dokumentare—eigentlich ein zwingendes Erfordernis ist, sei an dieser Stelle als selbstverständliche Grundvoraussetzung nachdrücklich betont.