



Historisches Grünes Gewölbe im Westflügel des Dresdner Residenzschlosses, Pretiosensaal, Zustand 2006 nach Abschluss der Restaurierungs- und Rekonstruktionsmaßnahmen

© Staatliche Kunstsammlung Dresden, Grünes Gewölbe, Foto: David Brandt

Rekonstruktion der Wandverspiegelungen im Historischen Grünen Gewölbe

Ein Beispiel für das Zusammenwirken von traditioneller Handwerkskunst und modernen Technologien

Wolfgang Nedon

Das heutige Historische Grüne Gewölbe entstand in zwei Bauabschnitten zwischen 1723 und 1729 im Erdgeschoss des Westflügels des Dresdener Residenzschlosses. In einer eigenhändigen Skizze entwarf August der Starke für seinen Architekten Matthäus Daniel Pöppelmann ein Raumprogramm,

das unter Nutzung der „Geheimen Verwahrung“ am Ende insgesamt acht Räume zur Präsentation seiner Schatzkunst vorsah. Pöppelmann entwickelte als Ausstattungskonzeption eine Folge von Spiegelkabinetten, deren architektonische Gestaltung eine optimale künstlerische Wirkung der jeweils darin ent-

haltenen Kunstwerke bei gleichzeitiger illusionistischer Raumerweiterung erzielen sollte. Die Raumfolge wiederum folgte dem dramaturgischen Prinzip zunehmender Prachtentfaltung bis zu einem rauschhaft faszinierenden Höhepunkt. Pöppelmann steigerte nach einem wenig bzw. nicht verspiegelten Bereich – Bronzezimmer, Elfenbeinzimmer – die Spiegeldichte vom Weißsilberzimmer über das Silbervergoldete Zimmer zum Pretiosensaal mit seinem Eckkabinett. Dem sich anschließenden Wappenzimmer, eine Ruhezone mit nur einem Spiegelfeld, folgte das Juwelenzimmer mit der Vollverspiegelung aller Wände und darin eingelassenen verspiegelten Vitrinen zur Präsentation des damals umfangreichsten Juwelenschatzes Europas. Rot und blau hinterlackierte goldradierte Ornamentfelder auf den Scheibenrückseiten zwischen Spiegelschichten – analog einer Hinterglasmalerei – gliederten den Raum architektonisch.

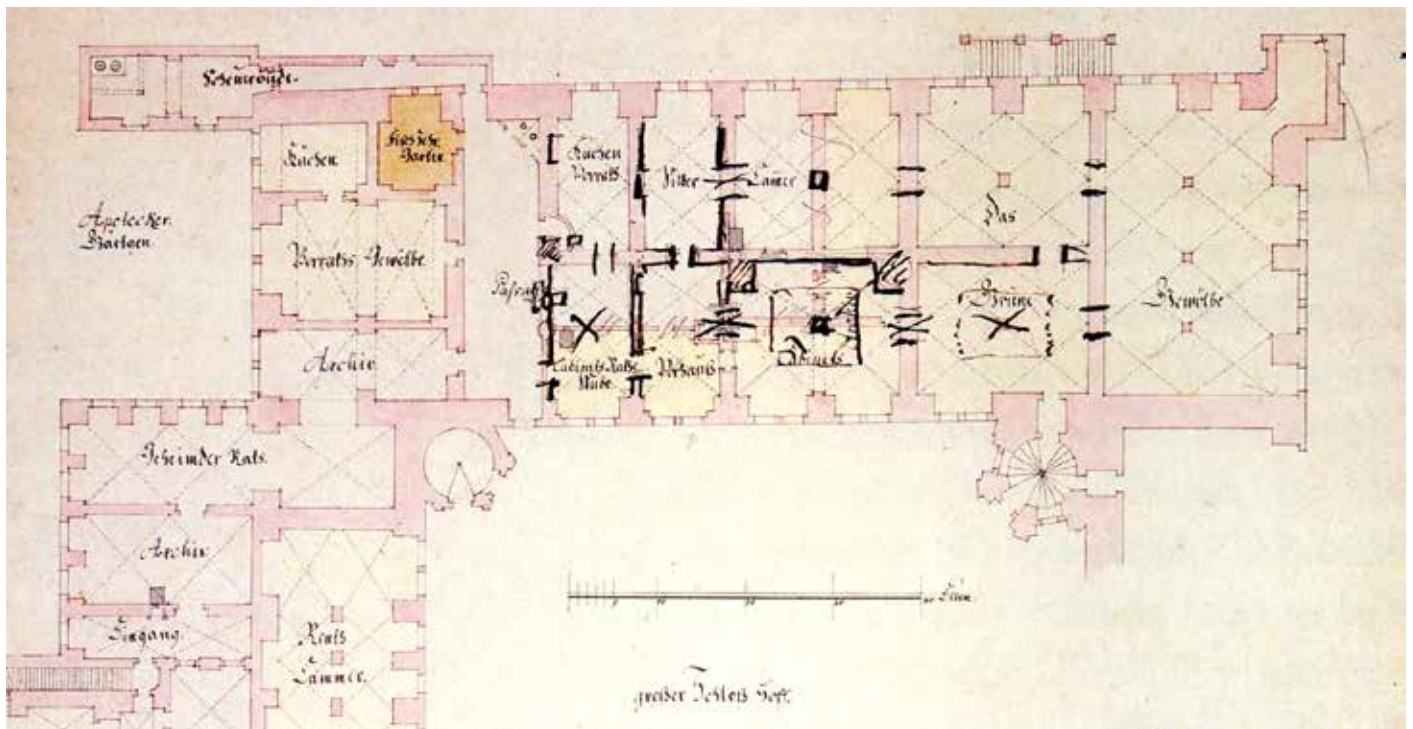
Dieses Ausstattungsprinzip demonstrierte neben hoher künstlerischer Kreativität und Qualität die Wirtschaftskraft und den Reichtum des Landes Sachsen sowie den des Bauherrn. Spiegel gehörten im 18. Jahrhundert zur teuersten Raumausstattung. Die Gesamtkosten für die Gestaltung des Silbervergoldeten Zimmers und des Pretiosensaales mit dem Eckkabinett im ersten Bauabschnitt betragen 16.644 Taler, die Kosten der Spiegel allein 8.478 Taler, also etwas mehr als die Hälfte.¹ Die hohen Kosten resultierten aus der aufwendigen Herstellung eines verzerrungsarmen Spiegelglases, einer zeitaufwändigen Belegungstechnologie und eines stetig zunehmenden Bedarfs.

Die Herstellung eines verzerrungsarmen Flachglases gleichmäßiger Dicke gelang 1688 mit der fabrikmäßigen Erfindung des Walzverfahrens im französischen Saint Gobin. Dazu verteilte man flüssige Glasschmelze auf einen Eisentisch und walzte sie solange, bis die gewünschte Dicke erreicht war. Nach Abkühlen und anschließendem mehrfachen Schleifen und Polieren der Oberfläche, im letzten Arbeitsgang Scheibe gegen Scheibe mit immer feinerem Schleifkorund, konnte die Scheibe belegt werden. Dafür wurde eine dünne Zinnfolie auf der kippbaren Marmorplatte eines Belegtisches in waagerechter Stellung faltenfrei aufgebracht, zunächst mit etwas Quecksilber begossen „gewaschen“ und anschließend eine größere Menge Quecksilber darauf verteilt. Schließlich schob man die sorgfältig gereinigte Glasplatte über einen seitlich angelegten Leinenstreifen auf das Quecksilber, drückte sie mit hoher Kraft gegen den Belegtisch, der einen Tag waagrecht stehen blieb und danach langsam mit der angepressten Scheibe bis zu 60 Grad geneigt wurde. Dabei floss das überflüssige Quecksilber ab. Um die Amalgamierung zu vollenden, musste die Scheibe abschließend sechs bis acht Wochen ruhig in diesem geneigten Zustand lagern.

Der französische König Ludwig XIV. hatte mit seiner 1684 im Schloss Versailles vollendeten Spiegelgalerie eine europaweite Mode-

1 Dirk Syndram: Die Schatzkammer Augusts des Starken, Leipzig 1999.

Grundriss der Erdgeschossräume im Westflügel des Dresdener Residenzschlosses mit Eintragungen Augusts des Starken
© Hauptstaatsarchiv Dresden



- 2 Gerhard Glaser: Das Grüne Gewölbe im Dresdner Schloss, in: Mitteilungen des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen, Sonderheft 1997, S. 35.
- 3 Gerhard Glaser: Der alte Glanz, in: Das Grüne Gewölbe im Schloss zu Dresden. Die Rückkehr eines Gesamtkunstwerkes, Leipzig 2006.

welle ausgelöst. An zahlreichen Höfen entstanden Spiegelkabinette oder Spiegelsäle, die den Bedarf an Spiegeln steigerten und zahlreiche Gründungen von Spiegelmanufakturen zur Folge hatten. Auch August der Starke ließ in Friedrichstal bei Senftenberg 1709 eine Spiegelglashütte errichten und in Dresden eine Schleif- und Poliermühle betreiben. Die für das Grüne Gewölbe benötigten Spiegel wurden jedoch größtenteils von einem Händler über Berlin europaweit erworben. Regional unterschiedliche Farbvarietäten der Spiegelgläser und Qualitätsunterschiede im Oberflächenschliff wurden von Pöppelmann durch eine geschickte Anordnung innerhalb der Raumwände optisch minimiert. Nach der Fertigstellung wurde das Grüne Gewölbe eines der ersten öffentlichen Museen der Welt. Trotz der nach dem Siebenjährigen Krieg 1772 erfolgten Entnahme des Weißsilbers und dessen Vermünzung zur Begleichung der Kriegskosten, blieb es über zwei Jahrhunderte ein weltweit einmaliges Gesamtkunstwerk mit der umfangreichsten Sammlung barocker Schatzkunst.

Während der Luftangriffe am 13./14. Februar 1945 brannten die drei hofseitig gelegenen Räume und damit auch das Juwelenzimmer vollständig aus. Eiserne Fensterläden, die zusammen mit eisernen inneren Türen nach einem von August dem Starken festgelegten Tresorprinzip die Räume schützen sollten, platzten infolge der im Schlosshof herrschenden hohen Temperaturen aus ihren Sandstein-Verankerungen und gaben den Weg für das Feuer in das Innere frei. Die

Tür zwischen Wappenzimmer und Pretiosensaal hielt glücklicherweise stand, ebenso die Sicherungen aller fünf stadtsseitig gelegenen Räume. Diese überdauerten das Inferno nahezu unbeschadet.

Das nach 1945 einsetzende jahrelange Ringen um den Bestand der Schlossruinen hatte für die erhaltenen Räume fatale Folgen. Gezielter Diebstahl, Vandalismus und unsachgemäße Nutzung drohten die erhaltene kostbare Ausstattung zu dezimieren. Die unzerstörten Wandverspiegelungen erlitten dabei die größten Verluste. Von 423 Quadratmetern des ursprünglichen Bestandes erwiesen sich nur noch 60 Quadratmeter als wiederverwendbar. Von den goldradierten Spiegeln des Juwelenzimmers fand sich im Schutt zunächst nur eine etwa streichholzschachtelgroße Scherbe. 1962/63 wurde das Interieur ausgebaut, gesichert eingelagert und die Räume danach in unterschiedlicher Weise genutzt. Gleichzeitig erfolgten im Zusammenhang mit Planungen für den Ausbau des Schlosses als „Museumskombinat“ bauliche Sicherheits- und Erhaltungsmaßnahmen.² Der Startschuss zum systematischen Wiederaufbau fiel 1985 nach der Eröffnung der Semperoper.

Die Ausstellung „Das Dresdener Schloss – Monument sächsischer Geschichte und Kultur“ zeigte 1989 in allen Räumen des Grünen Gewölbes charakteristische Exponate zu wichtigen, die Identität Sachsens prägenden Ereignissen und deren Einfluss auf die Entwicklung der Schlossarchitektur. Diese Ausstellung rückte auch das originale Grüne Gewölbe wieder in das Blickfeld der Öffentlichkeit. Neben den thematisch geordneten Exponaten errichtete man in jedem der acht Räume eine sogenannte Probeachse, die seine ursprüngliche Gestaltung erahnen ließ und deren hohen künstlerischen Wert anschaulich dokumentierte. Für das im Rohbau wiedererstandene Juwelenzimmer wurde dazu das Mittelstück der Westwand mit einem zentralen Pfeilerspiegel umrahmt von goldradierten Pilasterspiegeln auf einem goldradierten verspiegelten Glassockel ausgewählt. Von dieser Achse existierte ein Foto von 1910, das es ermöglichte, das Rahmenwerk mit seinen Schnitzereien und Vergoldungen sowie die Ornamentik der Goldradierungen zu rekonstruieren.

Ein grundsätzliches Problem bildete die Wiedergewinnung der Verspiegelung, die in ihrer originalen Technologie aus Arbeitsschutzgründen in der DDR nicht genehmigungsfähig war und deren ursprüngliche Wirkung



Probeachse in der Ausstellung „Das Dresdner Schloß – Monument sächsischer Geschichte und Kultur“ im Georgenbau, 1994
Foto: Wolfgang Nedon

mit modernen Silberspiegeln nicht erreicht werden konnte. Historische Zinnamalgalam- und moderne Silberspiegel unterscheiden sich in ihrer Reflexion und damit in ihrer ästhetischen Wirkung erheblich. Zinnamalgalamspiegel besitzen mit etwa 60 Prozent Reflexion gegenüber hellen Silberspiegeln mit etwa 96 Prozent einen noblen dunklen grauen Ton. Als Wandverspiegelungen eingesetzt, bilden sie einen sogenannten Fond, bei dem die Raumgrenzen trotz illusionistischer Erweiterung sichtbar bleiben. Realität und Spiegelbild kann man deutlich unterscheiden. Silberspiegel hingegen verwischen Raumgrenzen, wandfeste Gegenstände scheinen verdoppelt zu schweben oder hindurchzufallen. Dieser Effekt zeigte sich deutlich an der mit Silberspiegeln restaurierten Schauwand des Silbervergoldeten Zimmers, die im Rahmen einer Neuordnung der Präsentation des Grünen Gewölbes im Albertinum 1974 aufgestellt worden war.³ Aus diesem Grund kam eine Ergänzung der Spiegelwände mit modernen Silberspiegeln für das Grüne Gewölbe, in dem die meisten Exponate auf Konsolen direkt vor Spiegelwänden stehen, nicht in Frage. Verschiedene Ersatzverspiegelungen, zum Beispiel mit Silber belegte gefärbte Gläser, wurden an einer restaurierten Probeachse des Pretiosensaals mit den dort noch vorhandenen Originalen zusammengestellt und bereits in einer Ausstellung „Matthäus Daniel Pöppelmann – ein Architekt des Barocks in Dresden“ im Frühjahr 1987 im Albertinum gezeigt - mit ästhetisch unbefriedigendem Ergebnis.

Ein Ausweg aus diesem Dilemma bot ein Verfahren zur Herstellung von Dünnschichtspiegeln im Vakuum mittels einer Technologie, die ursprünglich für die Fertigung mikroelektronischer Bauelemente entwickelt worden war, das Magnetron-Sputtern. Bei diesem Verfahren wird das über einem Magneten angeordnete metallische Schichtmaterial in einer Vakuumkammer durch einen elektromagnetisch erzeugten Argon-Ionenstrom hoher Dichte bei sehr niedrigem Druck zerstäubt und die abgestäubten Teilchen mit hoher Energie auf das darüber angeordnete sogenannte Substrat, hier das speziell gereinigte und vorbehandelte Spiegelglas, geschossen. Nach kurzer Zeit bildet sich darauf eine haftfeste dünne geschlossene Schicht. Das Forschungsinstitut Manfred von Ardenne, das technologische Auftragsforschung für alle Kombinate der DDR betrieb, hatte für den damaligen VEB Flachglaskombinat Torgau auf dieser Basis eine Herstellungstechnologie mit

entsprechender Anlagentechnik für großformatige Spiegel mit einer reflektierenden Aluminiumschicht als Silberersatz entwickelt und bis 1985 im VEB Farbglaswerk Weißwasser zur Produktionsreife geführt. 1985/86 erhielt ein weiterer Kombinatbetrieb, der VEB Glas-technik Lommatzsch, der auf die Produktion von Verkehrsspiegeln spezialisiert war, vom Institut eine Vakuumanlage zur Beschichtung gläserner Autokippdächer mit einer transparenten Sonnenschutzschicht nach dem gleichen Prinzip. Beide Betriebe wurden später in die 1987 beginnenden Aktivitäten zur Entwicklung eines quecksilberfreien Spiegels mit den optischen Eigenschaften eines Zinnamalgalamspiegels einbezogen.

Den Ausgangspunkt dieser Arbeiten bildete ein von der Kulturkommission des Forschungsinstitutes Manfred von Ardenne im Frühjahr 1987 organisierter Vortrag von Dr. Gerhard Glaser, dem Leiter des damaligen Instituts für Denkmalpflege, Arbeitsstelle Dresden, über die Rekonstruktionsvorhaben im Dresdener Schloss, der unter anderem die Spiegelproblematik berührte. In einem anschließenden persönlichen Gespräch wurde der Referent vom Autor dieses Beitrages über die Möglichkeiten einer Herstellung quecksilberfreier Dünnschichtspiegel in angepasstem Zinnamalgalam-Farbtönen informiert. Daraufhin erfolgte durch Herrn Dr. Glaser im Mai 1987 eine offizielle Anfrage an das Institut über eine mögliche Unterstützung beim Lösen der Spiegelproblematik. Nach erfolgter Zusage traf sich der Autor mit ihm im Grünen Gewölbe, um ein originales Spiegelmuster aus dem Pretiosensaal zu Vergleichszwecken zu übernehmen. Eine zeitnah im Labor gesputterte Zinnschicht auf das damals zur Verfügung stehende Floatglas aus Torgau zeigte visuell eine fast perfekte Übereinstimmung der Reflexionsfarbe der übergebenen Originalprobe und mit einem weiteren Original aus der Probeachse des Pretiosensaals in der Pöppelmann-Ausstellung. Die Ergebnisse objektiver optischer Messungen mittels eines Spektrometers, durchgeführt von Mitarbeitern des Direktionsbereiches Wissenschaft/Technik des Flachglaskombinates Torgau, Dr. Heinz Schicht und Hagen Hildebrand, bestätigten die individuellen ersten Eindrücke: Beide Proben zeigten einen gleichen Farbtönen bei unterschiedlicher Sättigung. Der Vergleich mit einer zweiten, etwas später übergebenen Originalprobe ergab eine etwas abweichende Farbtonung bei gleicher Sättigung. Diese Unterschiede zwischen den Originalproben resultierten aus den erwähnten regionalen Beson-

derheiten der Glaszusammensetzung und der Spiegelproduktion im 18./19. Jahrhundert.

Das ermutigende Ergebnis dieses „Anhiebversuches“ begründete eine systematische Technologieentwicklung, um einen quecksilberfreien Spiegel mit historischer Optik, der allen normativen Anforderungen genügen musste, herzustellen. Erfolgt alle bisherigen Aktivitäten durch das persönliche Engagement der Beteiligten, wurde jetzt eine vertraglich und finanziell fundierte interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Leitungsgremien und Mitarbeitern der Denkmalpflege, des VEB Flachglaswerkes Torgau und seiner Betriebe in Weißwasser und Lommatzsch sowie dem Forschungsinstitut Manfred von Ardenne notwendig. Es zeigte sich jedoch im Verlauf der Arbeiten immer wieder, dass ohne ein zusätzliches persönliches Engagement aller Bearbeiter das Rekonstruktionsvorhaben nicht zu bewältigen gewesen wäre. Bei der Materialbeschaffung half manchmal auch der Nimbus des Grünen Gewölbes.

Mit einem Schreiben des Leiters der Aufbauleitung des Rates des Bezirkes Dresden, Erich Jeschke, vom April 1988 an den stellvertretenden Leiter des Forschungsinstitutes Manfred von Ardenne, Professor Siegfried Schiller, in dem er um Informationen zur Spiegeltechnologie und um Unterstützung des Rekonstruktionsvorhabens bat, begann die offizielle Zusammenarbeit. Als ausführenden Betrieb und Entwicklungspartner benannte er den damaligen VEB Denkmalpflege Dresden. Nach Absprache mit dem Institut übernahm der VEB Flachglaskombinat Torgau die Entwicklungskosten des Schichtsystems, mit dem Ziel, später die Produktpalette für den VEB Farbglaswerk Weißwasser um einen „Antikspiegel“ zu erweitern. Noch im April 1988 trafen sich die für die Probeachse des Juwelenzimmers verantwortlichen Mitarbeiter des VEB Denkmalpflege, der Architekt Uwe Kind, der Leiter der Malerwerkstatt Peter Pfitzner und der Restaurator Peter Taubert mit dem Autor, um sich gegenseitig kennenzulernen, fachlich auszutauschen und die weitere Vorgehensweise zu besprechen.

Die Entwicklung des Spiegelschichtsystems mit Zinn als Reflexionsschicht begann auf der Grundlage der Erfahrungen bei der Optimierung des korrosions- und langzeitbeständigen Spiegelschichtsystems aus Aluminium (Silberersatz) als Reflexionsschicht plus Titan als lackvermittelnde korrosionshemmende Hartstoffschicht plus ofentrocknendem porenfreien Zweikomponentenlack als Schutz vor mechanischen Einwirkungen. Der

Lacktrocknungsprozess bedingt allerdings eine Temperaturbeständigkeit des Metallschichtsystems von mindestens 180 Grad Celsius, die bei Aluminium (Schmelzpunkt 660 Grad Celsius) und Titan (Schmelzpunkt 1668 Grad Celsius) aber auch bei Zinn (Schmelzpunkt 230 Grad Celsius) kein Problem darstellt. Ein Austausch des Aluminiums gegen Zinn schlug fehl, Zinnschichten jeder Dicke wurden nach jeder Titanbeschichtung milchig weiß, diese Kombination schied also aus. Da sich Titan und Lack als stabiles System erwiesen hatten, musste man eine Zwischenschicht finden, die korrosionsbeständig und gleichzeitig „zinnfreundlich“ war. Hier bot sich Bronze an, insbesondere eine Legierung, die seit der Antike als korrosionsbeständiges Spiegelmaterial verwendet wurde und mit der auch Isaac Newton seine Optikversuche durchgeführt hatte, das sogenannte Speculum, eine Legierung von 94 Prozent Kupfer und 6 Prozent Zinn. Da antike Metallspiegel aus diesem Material noch heute reflektieren, ist die Langzeitbeständigkeit einer solchen Legierung unzweifelhaft. Dieses Material kann sich problemlos mit der Zinnschicht verbinden, sie vor äußeren Einflüssen schützen, gleichzeitig über das Kupfer eine feste Bindung mit Titan eingehen und alle drei Metallschichten zusammen mit dem Lack ein langzeitstabiles System bilden. Nach diesen Überlegungen zur Materialauswahl startete die Suche nach den optimalen Dicken der Einzelschichten, die als Schichtsystem alle vorgeschriebenen Testverfahren zur Langzeitstabilität von Feuchtraumspiegeln zu bestehen hatte. Deren Kriterien bildeten zu dieser Zeit die härtesten ihrer Art.

Ein brieflicher Erfahrungsaustausch von Uwe Kind mit dem stellvertretenden Leiter des Landbauamtes Würzburg, das für die Rekonstruktion des 1987 fertiggestellten Spiegelkabinetts der dortigen Residenz verantwortlich war, sorgte bei den Mitarbeitern des VEB Denkmalpflege Dresden zunächst für Irritationen. In Würzburg hatte man bereits 1980 begonnen, aus der Schmelze gezogenes, sogenanntes Fourcault-Glas im Vakuum mit Zinn zu beschichten, allerdings durch Zinnverdampfung aus einem Tiegel. Die aufgedampfte Zinnschicht erwies sich als nicht haftfest, die Welligkeit des Glases als ungeeignet. Die Suche nach einem haftfesten Schichtmaterial und einem geeigneten Flachglas gestaltete sich schwierig und langwierig. Heinz Richter berichtete ausführlich über die in Würzburg aufgetretenen Probleme und über die dortige Technologie bei der Wiederherstellung der

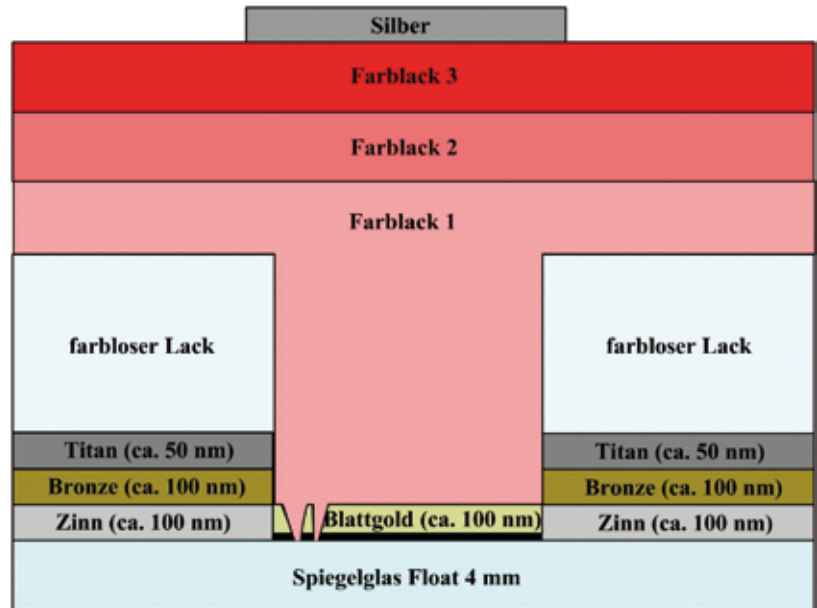
total zerstörten Spiegelflächen, die zwischen Hinterglasmalereien in kompliziert umrandeten Wandfeldern, begrenzt durch vergoldete Rokoko-Schnitzereien, auf den bemalten Glasplatten einzufügen waren.

Die Bedenken über die Haftfestigkeit der Zinnschicht und die Glasqualität konnten schnell ausgeräumt werden. Bei der Sputter-Technologie erreichen die abgestäubten Teilchen mit etwa einhundertfach höherer Energie das Glas als beim Verdampfen im Vakuum aus einem Tiegel. Sie diffundieren auf der Oberfläche und haften entsprechend besser. Zusätzlich wurden auf der Glasscheibe durch Elektronenbeschuss im Vakuum unmittelbar vor der Beschichtung alle darauf permanent befindlichen Wassermoleküle entfernt, die eine Haftfestigkeit dünner Schichten beeinträchtigen. Das für die Beschichtung vorgesehene Floatglas, das infolge seiner Herstellung auf einem flüssigen Zinnbad zwei planparallele Oberflächen aufweist, garantiert verzerrungsfreie Spiegelbilder.

Siegfried Schneider, Christine Brisch und der Autor begannen im Forschungsinstitut Manfred von Ardenne zusammen mit den Partnern aus der Glasindustrie, die optimale Dicke aller Einzelschichten für ein beständiges Schichtsystem zu ermitteln. Dazu wurden mehr als 50 Proben mit unterschiedlichen Schichtdickenkombinationen beschichtet und unlackiert und lackiert den verschiedenen Tests unterworfen, deren Ergebnisse in einen genormten Maßstab zur Beschreibung der Haftfestigkeit und der Langzeitbeständigkeit eines Dünnschichtsystems einzuordnen waren:

- Der Klebestreifen-Abrisstest als Maß für die Haftfestigkeit des unlackierten und lackierten Metallschichtsystems,
- der Pilling-Test (Abriebtest) als Maß für die Haftfestigkeit des unlackierten Metallschichtsystems, bei dem Kunststoffräder die Schichten definiert abschleifen,
- der Temperaturtest und der Klimatest (Temperatur- und Feuchtevariation) als Maß für die Klimabeständigkeit des unlackierten und lackierten Metallschichtsystems,
- der Gitterschnitt-Test als Maß für die Lackhaftung und Schnittfestigkeit, bei dem eine aufgereichte Batterie parallel angeordneter Schnitträdchen nacheinander orthogonal über den Lack geführt und das Splitterverhalten an den Rillenrändern, insbesondere an den Kreuzungspunkten beurteilt wird. Splittert er nicht, ist er haft- und schnittfest.

Der Pilling-Test, der Gitterschnitt-Test und die notwendigen Schichtdicken- und opti-



schen Vergleichsmessungen wurden wieder von den Torgauer Mitarbeitern des Direktionsbereiches Wissenschaft/Technik durchgeführt, die über die entsprechende Geräte- und Messtechnik verfügten. Der Temperatur- und der Klimatest konnten im Institut erfolgen und ausgewertet werden.

Zur Herstellung der Goldradierungen war vorgesehen, die handwerklich mit Blattgold zu belegenden und anschließend zu radierenden Ornamentfelder mit temperaturbeständiger und rückstandsfrei abziehbarer Klebefolie in ihrer Geometrie vor dem Beschichten abzukleben. Entsprechende Klebestreifen stellten freundlicherweise die Restauratoren aus Würzburg zur Verfügung. Eine weitere Voraussetzung war ein splitterfreier schnittfester Lack, um die Konturen nach dem Abziehen der Klebefolie nicht zu verwischen. Zum Lackieren standen der schnittfeste ofentrocknende Epoxyd-Melamin-Harzack aus Weißwasser, lufttrocknender schnittfester Alkydharz-Verkehrerspiegellack des VEB Glastechnik Lommatzsch, PUR-Lack aus der DDR und PUR-Lack der Firma Dr. Renger & Co aus der Bundesrepublik zur Auswahl, dessen kostenloser Bezug ebenfalls durch Würzburger Kollegen vermittelt worden war.

Nach Auswertung der Mess- und Testergebnisse wurde als Metallschichtsystem eine 100 Nanometer (=100 millionstel Millimeter) dicke Zinnschicht, eine 100 Nanometer dicke Bronzeschicht und eine 30 bis 50 Nanometer dicke Titanschicht für die Metallbeschichtung der Spiegelgläser für die Probeachse des Juwelenzimmers als vorläufiges Optimum ermittelt. Beide PUR-Lacke splitterten, die La-

Schema des Schichtsystems eines gesputterten und anschließend goldradiierten Spiegels

cke aus Lommatzsch und Weißwasser erfüllten die Anforderungen.

Im März 1989 begannen die Vorbereitungen für die Herstellung der Spiegel und deren Produktion. Das Forschungsinstitut Manfred von Ardenne verfügte nur über Laboranlagen. Technologische Entwicklungen zur Ermittlung realer Produktionsbedingungen wurden in Betriebe der Auftraggeber unter Nutzung der dort vorhandenen oder durch das Institut erstellten Anlagen „ausgelagert“. Es kam auf die Einstellung der Betriebsleitung und der betreffenden Mitarbeiter vor Ort an, ob und wieviel zusätzliche Zeit und Personalkapazität für ungeplante spontan notwendige Forschungsarbeiten oder Pilotproduktion innerhalb eines Produktionszyklus zur Verfügung gestellt wurde. Im VEB Glastechnik Lommatzsch, wo die kleinformatigen Pilaster Spiegel und der verspiegelte Sockel beschichtet werden sollten, und im VEB Farbglaswerk Weißwasser, wo die Herstellung des großen Mittelspiegels vorgesehen war, gab es ein entsprechendes Entgegenkommen der Leitung. In Weißwasser wurde 5 Millimeter dickes Floatglas maßgeschnitten, konfektioniert und durch Institutsmitarbeiter in den vom VEB Denkmalpflege Dresden hergestellten Spezialkisten nach Lommatzsch transportiert. Hier hatte für ein Wochenende der sehr rührige und interessierte Betriebstechnologe Bernd Risse die Autokippdach-Beschichtungsanlage für die Spiegelbeschichtung vorbereitet, die Magnetrons mit den Beschichtungsmaterialien bestückt, die Ultraschall-Glasreinigung vor und die Lackierung nach der Beschichtung organisiert. Uwe Kind und Bernd Garte vom VEB Denkmalpflege beklebten das gereinigte Glas mit der Würzburger Folie und konfektionierten und beschnitten die Ornamentflächen. Siegfried Schneider und der Autor steuerten den Vorbehandlungs- und Beschichtungsprozess. Anschließend erfolgte die Lackierung des Metallschichtsystems mit dem schnittfesten Verkehrsspiegellack.

Nach Überführung der getrockneten Spiegel zum VEB Denkmalpflege Dresden begannen dort die Arbeiten des Goldradierers Henner Franck. Der großformatige Mittelspiegel sollte in Weißwasser beschichtet und lackiert werden. Es war vereinbart, vor einer Nachtschicht die Spiegelanlage für die Beschichtung mit Zinn einzurichten und mehrere Scheiben vom Format 1 x 1,6 Meter zu beschichten. Infolge einer gezielten Informationsdeformation wurden die Scheiben jedoch mit Titan beschichtet. Der Fehler war aus Zeitgründen nicht mehr zu korrigieren und

so bekam die Probeachse zunächst im Mittelfeld einen unpassenden optisch kalt wirkenden Titanspiegel.

Im VEB Denkmalpflege fertiggestellt, gelangte die Probeachse mit drei verschiedenen Spiegelarten an ihren Ort in das Juwelzimmer: Der rechte Pilasterspiegel und der Sockel zinnverspiegelt, der Mittelspiegel titanbeschichtet und der linke Glaspilaster mit Silberfolie hinterlegt. 1994 wurde sie in die modifizierte Schlossausstellung in das Georgentor versetzt und zeugt heute im Vorraum des Neuen Grünen Gewölbes neben weiteren einschlägigen Exponaten von den erfolgreichen Bemühungen eines zielorientierten interdisziplinären Teams zur Wiedergewinnung der Verspiegelung des Grünen Gewölbes unter den Bedingungen einer bereits maroden DDR-Wirtschaft.

Der große Titan-Mittelspiegel wurde inzwischen durch einen neuen Zinnamalgamspiegel der Firma SPIEGELART aus Weißwasser ersetzt. Dieser weist bereits auf einen Paradigmenwechsel bei der Fortsetzung dieser Arbeiten nach 1989 hin.

Die Wende 1989/1990 löste auch die gewachsenen Arbeitsstrukturen zur Spiegelrekonstruktion auf. Das Forschungsinstitut Manfred von Ardenne teilte sich Ende 1990 in vier selbstständige Gesellschaften. Der Stellvertreter des Institutsdirektors, Professor Siegfried Schiller, gründete mit fünf leitenden Mitarbeitern des Institutes eine Forschungsgesellschaft für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP mit dem Ziel, diese ab 1992 in die Fraunhofer-Gesellschaft einzugliedern. Die Forschungstraditionen des Institutes und die Arbeitsplätze von 75 erfahrenen Mitarbeitern konnten auf diese Weise erhalten werden. Das Flachglaskombinat Torgau übernahm der französische Glas-Konzern Saint Gobin, im Farbglaswerk Weißwasser wurde die Spiegelanlage 1990 verschrottet und anschließend das Werk liquidiert. 1992 gelang es dem nunmehrigen Fraunhofer FEP die Autokippdach-Beschichtungsanlage der Glastechnik Lommatzsch aus deren Insolvenzmasse preisgünstig für Forschungszwecke zu erwerben.

1993 nahm der Nachfolgebetrieb des VEB Denkmalpflege Dresden, die Firma Fuchs & Gierke, Kontakt mit dem Fraunhofer FEP auf, um über eine eventuelle Fortsetzung der Spiegelentwicklung und -herstellung zu beraten. Uwe Kind, inzwischen Projektleiter in der AIT Bauplanungs GmbH, hatte bereits Ende 1992 eine Liste aller im Schloss zu restaurierenden und zu rekonstruierenden his-

torischen Spiegel mit ihren Maßen zu Händen des Autors übersandt. Die Lommatzsch Anlage stand für die Beschichtung kleinerer Formate zur Verfügung. Für die Herstellung großformatiger Spiegel wäre es möglich gewesen, entgeltliche Beschichtungskapazitäten bei neuen Industriepartnern der Fraunhofer-Einrichtung FEP zu akquirieren. Die Firma FLABEC in Fürth zeigte Interesse an der Problematik. Dr. Hans-Joachim Becker aus der Zentrale Technik und Entwicklung erklärte sich bereit, einige ältere Proben mit verschiedenen Schichtdicken noch einmal zu testen. Der aggressivste Test, der 1988/1989 nicht durchgeführt werden konnte, der Salzsprühtest, bei dem eine Probe im Salznebel 760 Stunden unversehrt überstehen muss, erbrachte das überraschende Ergebnis, dass lackierte Proben mit je 100 Nanometer Zinn- und Bronzeschichtdicke und 50 Nanometer Titan über 1.000 Stunden standhielten und damit weit über der DIN-Norm für Feuchtraumspiegel lagen. Das Ergebnis bildete sehr gute Voraussetzungen für eine Zusammenarbeit. Das Projekt scheiterte an erneuten Unsicherheiten bei der Wiederaufbauplanung des Schlosses.

Bis 2002 ruhten für das nunmehrige Fraunhofer FEP alle diesbezüglichen Aktivitäten. In diesem Jahr luden die inzwischen für das Grüne Gewölbe tätige Architektin, Stefanie Schubert, und der verantwortliche Chefrestaurator Hans-Christoph Walter, veranlasst durch die Firma Ardenne Anlagentechnik, den Autor zu einer Diskussion in den Pretiosensaal ein. Diese Firma, ebenfalls ein Nachfolger des Forschungsinstitutes, hatte Floatglas mit Zinn besputtert, das, angeordnet neben dem Originalbestand, stark abweichende Reflexionswerte bezüglich Helligkeit und Farbe zeigte. Die Spiegel wirkten äußerst hell und brillant im Gegensatz zu den Spiegeln der Probeachse. Offensichtlich war das Glas weißer als das ursprünglich in Torgau produzierte. Daraus ließ sich die Aufgabe ableiten, eine breitere Palette moderner handelsüblicher Floatgläser in ihrer Farbwirkung zu analysieren und mit den unterschiedlichen Farbtönungen der erhaltenen Originalgläser zu vergleichen, um ein farblich optimiertes Dünnschicht-Spiegelprodukt für das gesamte Grüne Gewölbe zu erhalten. Ohne sichere finanzielle Grundlage war die Aufgabe jedoch nicht zu lösen. Die Firma Ardenne Anlagentechnik wollte die Angelegenheit nicht weiter verfolgen. Eine Anfrage des Fraunhofer FEP beim damaligen Staatshochbauamt erbrachte die Aussage, dass das Amt keine Produktentwicklung fördere. Eine Finanzierung durch die Sächsische Aufbaubank



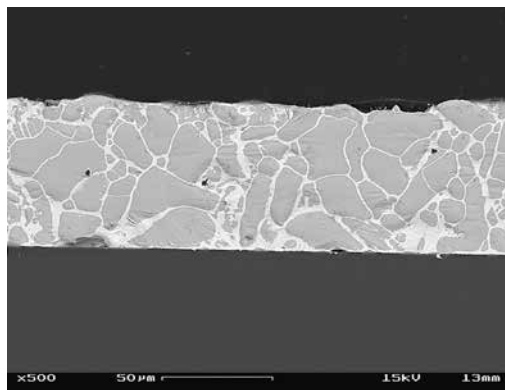
Inline-Vakuumbeschichtungsanlage ILA 900
© Fraunhofer FEP

scheiterte an fehlenden finanziellen Eigenmitteln und technischen Möglichkeiten der in Sachsen neu gegründeten mittelständischen Glasbetriebe und an mangelndem Interesse der sächsischen Dependancen internationaler Glaskonzerne.

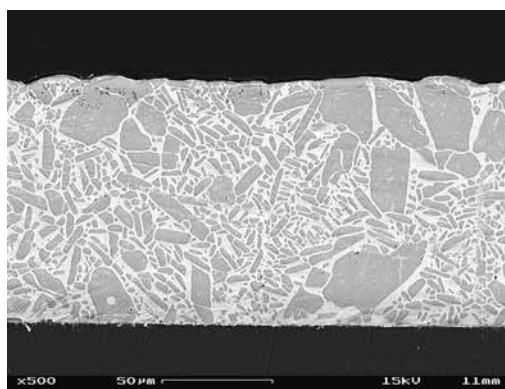
Zwischenzeitlich war die endgültige Zielstellung für den Schlosswiederaufbau formuliert und die denkmalpflegerischen Grundsätze für den Ausbau des Grünen Gewölbes festgelegt worden. Durch eine Gestaltungskommission wurde entschieden, soviel Originalspiegel wie möglich wieder zu verwenden und die nach 1945 verlorenen Bereiche mit Zinnamalgame spiegeln zu ergänzen, um ähnliche Alterungsprozesse zu gewährleisten. Dazu musste das Zinnamalgame-Belegungsverfahren unter modernen Arbeitsschutzbedingungen wiederbelebt werden. Das Rezept dafür lieferte ein 1904 erschienenes Buch „Die Fabrikation der Silber- und Quecksilberspiegel“. Ein mittelständiges Unternehmen, die Firma SPIEGELART in Weißwasser, stellte sich erfolgreich dieser Aufgabe. Der Geschäftsführer Steffen Noack baute in Eigeninitiative die notwendige technische Ausstattung des 18. Jahrhunderts nach und experimentierte unter allen amtlicherseits verfügbaren Arbeitsschutz- und Umweltauflagen zäh und geduldig, bis ihm eine fehlerfreie Belegung gelang.

Alle hofseitigen total zerstörten Räume sollten mit gesputterten Dünnschicht-Spiegeln ausgestattet und im Juwelenzimmer die Flächen für die Goldradierungen entsprechend der an der Probeachse entwickelten Klebe-Technologie ausgespart werden. Grundlage für diese Entscheidung war unter anderem die inzwischen an der Probeachse über 14 Jahre nachgewiesene Schichtbeständigkeit. Das wichtigste Kriterium war jedoch die Tatsache, dass die Goldradierer ihre Arbeiten an quecksilberfreien Spiegeln durchführen konnten, ohne gesundheitlichen Gefährdungen ausgesetzt zu sein.

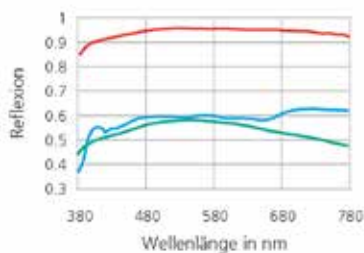
Querschliff eines originalen Zinnamalгамspiegels. Deutlich erkennbar das Zweiphasensystem mit Korngrößen zwischen 5 und 50 Mikrometer. Die dunkle Phase enthält 78 % Zinn und 22 % Quecksilber, die helle Phase 2 % Zinn und 98 % Quecksilber.
© Fraunhofer FEP



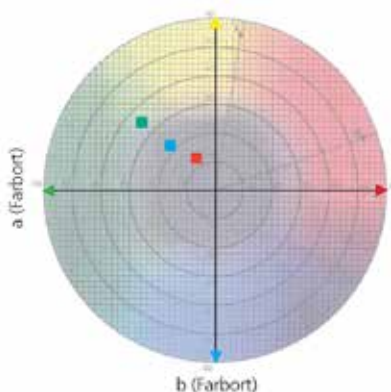
Querschliff eines Zinnamalгамspiegels der Firma SPIEGELART. Deutlich erkennbar das gegenüber dem Originalspiegel feinkörnigere Zweiphasensystem. Die dunkle Phase enthält 78 % Zinn und 22 % Quecksilber, die helle Phase 2 % Zinn und 98 % Quecksilber.
© Fraunhofer FEP



Vergleich der gemessenen Reflexionsspektren und der Farborte, berechnet nach DIN 5033, zwischen einem Zinnamalгамspiegel, einem gesputterten Spiegel und einem modernen Silberspiegel. Deutlich sind die unterschiedlichen Reflexionsgrade von etwa 60 % bei der Zinnamalгамschicht und der gesputterten Schicht gegenüber etwa 96 % bei der Silberschicht zu erkennen.
© Fraunhofer FEP



— Zinnamalгамspiegel
— Gesputterter Zinnspiegel (FEP)
— Silberspiegel



■ Zinnamalгамspiegel
■ Gesputterter Zinnspiegel (FEP)
■ Silberspiegel

2003 nahm Landeskonservator i. R. Professor Gerhard Glaser im Auftrag des Sächsischen Immobilien- und Baumanagements als verantwortlichem Bauträger wieder Kontakt mit dem Fraunhofer FEP auf, um die Möglichkeiten einer Zusammenarbeit für dieses Teilprojekt auszuloten. Die Institutsleitung war dafür sehr aufgeschlossen und der Autor übernahm neben seinen Tagesaufgaben die Koordination der Arbeiten. Das Fraunhofer FEP verfügte inzwischen über eine gerätetechnisch optimal ausgestattete Abteilung „Werkstoffkunde/Analytik“ unter Leitung von Dr. Olaf Zywitzki und eine anwendungstechnologisch vielseitig

orientierte Abteilung „Beschichtung von Flachsubstraten“ unter der Leitung von Dr. Torsten Kopte, ausgestattet mit industrienahe Durchlauf-Beschichtungsanlagen für die Technologieforschung, von denen die ehemalige Autokippdach-Anlage HZS-04 aus Lommatzsch und eine Großanlage, ILA 900, mit 14 Stationen zur Beschichtung von Flachglassubstraten mit Abmessungen von 0,90 x 1,60 Meter eine Spiegelproduktion im eigenem Hause ermöglichten.

Zunächst begann eine gründliche wissenschaftliche Charakterisierung des Bestandes an Original-Spiegelgläsern und Spiegeln, an handelsüblichen Floatgläsern, an den gesputterten Zinnspiegeln und den Zinnamalгамspiegeln der Firma SPIEGELART. Ein Vergleich der Ergebnisse lieferte wichtige Hinweise zu Zustand und Historie der Originalspiegel, zur Materialauswahl und zur Qualität der Verfahren bei der Herstellung der neuen Ersatzprodukte. Die chemische Zusammensetzung der Originalgläser wurde mittels energiedispersiver Spektrometrie von Röntgenstrahlung am Rasterelektronenmikroskop, die Rauheit und Welligkeit der Glasoberflächen durch ein Profilometer und der optische Spektralverlauf im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes von 380 bis 780 Nanometer durch ein UV/VIS-Spektrometer in Transmission und Reflexion ermittelt. Untersuchungen zum Gefüge der Zinnamalгамschichten erfolgten an metallographischen Querschliffen, welche im Materialkontrast am Rasterelektronenmikroskop abgebildet wurden. Die Struktur der Schichten lieferte das klassische Verfahren der Röntgenbeugung.

Die chemische Zusammensetzung der Gläser offenbarte Unterschiede zwischen der Nordwand des Pretiosensaales und des Eckkabinetts zu den übrigen Spiegelwänden. Diese Bereiche waren offensichtlich Ende des 19. Jahrhunderts ausgetauscht worden. Die Dicke der Zinnamalгамschichten schwankt zwischen 60 und 130 Mikrometern. Der mittlere Zinnanteil beträgt 60 Prozent, der mittlere Quecksilberanteil 40 Prozent. Die Schichtstrukturuntersuchungen zeigen ein zweiphasiges Gefüge. Dieses besteht aus einer kristallinen Phase mit etwa 78 Prozent Zinn und 22 Prozent Quecksilber und einer Korngröße von 5 bis 50 Mikrometern, deren Grenzen eine amorphe quecksilberreiche Phase mit 98 Prozent Quecksilber und 2 Prozent Zinn umschließt.

Originale Schichten unterscheiden sich von den bei SPIEGELART gefertigten durch eine größere Körnigkeit was durch die Alterung

erklärt werden kann. Originale Schichten sind zudem teilweise von Zinnoxidbereichen durchsetzt, die sich bis an das Glas erstrecken können und im Spiegel als schwarze Punkte zu erkennen sind.

Die Rauheits- und Welligkeitsmessungen an weniger korrodierten Originalgläsern ergaben erstaunlich perfekte Oberflächen, die denen des heutigen Floatglases sehr nahe kommen. Farbuntersuchungen an den verschiedenen Varietäten der Originalgläser zeigten visuell über die Kante gesehen eine dominierende Anzahl mittel- bis dunkelgrün gefärbter Gläser. Ein spektralanalytischer Vergleich dieser Varietät mit zwölf handelsüblichen Floatglasprodukten erbrachte die vorzugsweise Eignung des Floatglases Optifloat™ der englischen Firma Pilkinton als Spiegel-Ersatzglas. Glücklicherweise hatte Hans-Christoph Walter am Fuß des Mittelpfeilers des Juwelenzimmers weitere goldradiierte Scherben mit unverspiegelten Bereichen gefunden, die auch eine genauere Analyse der Glasfarbe und der Radierungsausführung ermöglichten. Die Ergebnisse untermauerten die denkmalpflegerische Zielstellung zur Wiederherstellung der Wandverspiegelungen für diesen total zerstörten Raum. Optisch sind alle Produkte gleichwertig. Gesputterte Zinnspiegel und neue Zinnamalgamspiegel ordnen sich in die verschiedenen Varietäten der Originalspiegel ein.

Für die Zinnspiegelherstellung war wieder, wie schon bei der Probeachse, Teamarbeit angesagt. Das Spiegelglas lieferte SPIEGEL-ART geschnitten und konfektioniert. Die Scheiben wurden im Fraunhofer FEP maschinell gewaschen und unmittelbar danach im Vakuum beschichtet. Spiegel mit barock gekrümmten Rändern erhielten nach Verlassen der Vakuumanlage sofort eine lufttrocknende Tungöl-Lackierung per Hand, transportfähige rechteckige Spiegel bekamen in einem nahe Dresden gelegenen Spiegelwerk in Wilsdruff, KINON-Spiegel, eine maschinell aufgetragene Lackierung mit handelsüblichem, bei 180 Grad Celsius ofentrocknenden porenfreien Spiegellack. Die Reinigung und Beschichtung großformatiger Scheiben mit barock gekrümmten Rändern, haarnadelförmigen Einschnitten oder Bohrlöchern, mit abgeklebten Bereichen oder Übermaßen war eine große Herausforderung für die FEP-Mitarbeiter Susann Otto, Michael Gnehr und Frank Marowski, die mit technologischem Spürsinn und experimentellem Geschick die Möglichkeiten der Beschichtungsanlage ILA 900 bis an die äußerste Grenze ausreizten.



Goldzuradierte Spiegelscheiben wurden mit Polierrot per Hand gereinigt und anschließend mit Hilfe von Schablonen mit temperaturbeständigem Kaptonband abgeklebt. Durch Beschneiden der Ränder durch den Goldradierer erhielten die Radierflächen ihre barocken Konturen. Die restlichen Glasflächen der Scheibe wurden nach gründlicher Zweitreinigung per Hand im Vakuum verspiegelt, anschließend tungöllackiert und in die Radierwerkstatt verbracht. Die Weiterverarbeitung oblag jetzt dem Goldradierer Herrn Henner Frank und seinem Team. Nach Entfernung des Kaptonbandes legte man nach nochmaliger sorgfältiger Handreinigung der freien Glasfläche die Blattgoldfolie mit Gelatine an, radierte sie und lackierte danach den gesamten Spiegel dreimal mit blauem oder rotem Lack. Abschließend hinterlegte man den Farblack

Grünes Gewölbe, Juwelenzimmer, Spiegel mit barock gekrümmten Rändern über der Vitrine der Südwand während des Einbaues
Foto: Wolfgang Nedon

4 Wolfgang Nedon/Olaf Zywitzki/Torsten Kopte: Rekonstruktion von Barockspiegeln des Historischen Grünen Gewölbes im Dresdener Schloss, in: Vakuum in Forschung und Praxis 18 (2007), Heft 5, S. 12.

Grünes Gewölbe, Juwelenzimmer, goldradiierte gekrümmt umrandete Füllspiegel über der Vitrine der Südwand
Foto: Wolfgang Nedon



Grünes Gewölbe, Juwelenzimmer,
Fensterlaibung der Ostwand.
Die noble dunkle Reflexion der
gesputterten Spiegel ist deutlich
zu erkennen.
Foto: Wolfgang Nedon



mit Silberfolie, die das einfallende Licht reflektiert und ihn von der Spiegelseite her „feurig“ erscheinen lässt.⁴

Den Transport aller Scheiben und Spiegel zu und von den Bearbeitungsstationen übernahm SPIEGELART. Diese Firma führte auch unter der Leitung von Christian Noack die Installation aller Spiegel in den Räumen des Grünen Gewölbes aus.

Nach Abschluss dieser Arbeiten beteiligte sich das Fraunhofer FEP an weiteren Projekten zur Erhaltung gefährdeten Kulturerbes im Rahmen der 2008 durch die Fraunhofer-Gesellschaft, die Leibniz-Gemeinschaft und die Stiftung Preussischer Kulturbesitz gegründeten Forschungsallianz Kulturerbe, die Möglichkeiten des Einsatzes moderner Hochtechnologien zur Rekonstruktion, Restaurierung und Konservierung gefährdeter Kulturgüter untersucht. Das Institut begleitete darüber hinaus mit analytischen Arbeiten die Restaurierung historischer Prunktextilien Augusts des Starken und erhielt 2019 den Auftrag zur Verspiegelung des Turmzimmers im Dresdener Schloss, das zusammen mit den anschließenden Paradedemächern des Kurfürsten-Königs im September 2019 eröffnet wurde.

Mit dieser Eröffnung ist die Rekonstruktion der im 18. Jahrhundert ausgestatteten Innenräume des Dresdener Residenzschlusses im Wesentlichen abgeschlossen. Zusammen mit dem Historischen Grünen Gewölbe bilden die Paradedemächer ein Ensemble künstlerischer Spitzenleistungen des deutschen Barock im europäischen Kontext, deren Wiederherstellung schon unmittelbar nach ihrer

Vernichtung im Februar 1945 von Zeitgenossen, wie Baumeister Hermann Ullrich oder dem Zwingererneuerer der 1930er Jahre, Hubert Ermisch, eingeleitet und den nachfolgenden Generationen als Verpflichtung hinterlassen worden war.



rechts: Grünes Gewölbe,
Juwelenzimmer, rekonstruierte
Nordwestecke
Foto: Wolfgang Nedon

Autor
Wolfgang Nedon
Dresden