

Vorwort

Die Naturwissenschaften können mit ihren zahlreichen Methoden den Fortschritt nicht nur in Richtung Zukunft bestimmen, sondern auch helfen, Unklarheiten aus der Vergangenheit zu beseitigen. Kunstwerke und archäologische Objekte bestehen aus einer Vielzahl von Materialien und sind somit allein aufgrund ihrer materiellen Grundlage bereits den unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Analysen zugänglich. Diese Techniken helfen nicht nur die Geschichte eines gefundenen Objektes, sondern auch die Geschichte seines Fundortes zu klären. Mit modernen Methoden der Physik und Chemie aber auch der Biologie und Medizin können zum Beispiel recht sichere Altersbestimmungen durchgeführt werden. Gleichzeitig läßt sich noch prüfen, ob ein wichtiger Fund auch echt oder vielleicht gefälscht ist. Damit hilft die Materialanalyse nicht nur den Museen und Sammlern, sondern gibt zusätzlich auch den Historikern und allen Wissenschaften, die sich mit der Vergangenheit befassen, eine wichtige Hilfestellung. Die Materialanalyse erschließt über eine Interpretation ihrer Befunde sogar frühe Handelswege für unterschiedliche Güter und entlarvt manchmal noch uralte Kriminalfälle, die bereits vor Jahrtausenden stattgefunden haben können. Atomphysik und Vorgeschichte können sich in der Materialanalyse gemeinsam treffen und neues Wissen erschließen.

Bei der Analyse von wertvollen Objekten der Kunst oder von spektakulären archäologischen Funden ist es wichtig, das Untersuchungsmaterial so wenig wie möglich zu beeinträchtigen und damit Fehlinterpretationen zu provozieren. Nach Möglichkeit sollen dabei alle Untersuchungen ohne eine Spur von Materialbeschädigungen oder sogar Zerstörungen durchgeführt werden. Diesem hohen Anspruch genügen moderne Materialanalysen durch höchst raffinierte Techniken. Notwendig sind für solche Analysen praktisch nur Strahlen mit unterschiedlichen Eigenschaften und das Untersuchungs-

objekt. Nach solchen Bestrahlungen reagiert das Untersuchungsobjekt und beginnt durch diese Reaktionen seine Identität und Geschichte zu verraten. Moderne Untersuchungstechniken können allein durch eine Objektbestrahlung viele wichtige Fragen beantworten. Wird schließlich doch Material für weiterführende Untersuchungen benötigt, sind alle modernen Analysen so sehr verfeinert, daß kleinste Mikromengen ausreichen und ein Objekt keine deutlichen oder sogar wertmindernden Beschädigungen erleidet.

Kombinationen von Methoden der Physik und Chemie haben in der Kunstanalyse in Deutschland eine lange Tradition. Schon im Jahre 1888 erhielten die königlichen Museen in Berlin als das erste Museum überhaupt ein chemisches Labor für Materialanalysen nach naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten. Dieses Labor wurde später weltweit ein Vorbild für andere Museen und Sammlungen und eröffnete nicht nur für den Kunsthistoriker völlig neuartige Perspektiven.

Das vorliegende Buch macht Leserinnen und Leser zunächst mit den unterschiedlichen Methoden der Materialanalyse bei Kunstwerken und geschichtlich wertvollen Objekten vertraut. Dabei wird deutlich, welche vielfältigen Aussagen allein Bestrahlungen und die Reaktionen auf Bestrahlungen machen können. Anschließend werden einzelne Materialien und ihre Bedeutung für Geschichte und Kulturgeschichte bewertet. Bei diesen Exkursionen tauchen manche echte Überraschungen auf. Leserinnen und Leser können dabei Reisen in ferne Vergangenheiten und durch weite Kontinente antreten.

Naturwissenschaftliche Analysen von Kunstwerken und archäologischen Objekten halten manche neuartige Erkenntnis bereit. Eine Vorstellung dazu liefert zum Beispiel bereits die Kombination von Computern mit Werken der Kunstgeschichte. Moderne Computer verfügen über eine so große Speicherkapazität, dass auch komplette Kunstwerke wie etwa Gemälde oder Statuen mit allen ihren komplexen Einzelheiten digitalisiert und abgespeichert werden können. Neben einem Original im Museum gibt es bei einer solchen Speicherung dann noch ein Gegenstück im Computer. Über komplizierte Rechenoperationen kann ein Computer danach ein abgespeichertes Kunstwerk sogar verändern. Er kann etwa bei Gemälden Farben aufhellen oder verdunkeln, aber auch Proportionen verschieben oder abgebildete Gegenstände in ihrer Größe variieren. Details von Malflächen lassen sich nun für den geschulten Blick isolieren und

Punkt für Punkt kann sorgfältig verglichen werden. Da der Ablauf von Verwitterungsprozessen heute weitgehend geklärt ist, kann ein leistungsstarker Computer sogar die Aufgabe einer virtuellen Verwitterung übernehmen. Ein Knopfdruck genügt und der Rechner läßt beispielsweise eine Statue in Sekunden um Jahrhunderte altern und Patina ansetzen. Effekte wie Oberflächenoxidation oder eine kontinuierliche Materialabschürfung durch Erosionen können heute von einem Computer nachvollzogen werden. Sollte sich ein Museum entschließen, ein wertvolles Objekt ungeschützt im Freien aufzustellen, kann gezeigt werden, wie ihm etwa der Regen in Zukunft zusetzen wird. Restauratoren können dadurch bereits im voraus erahnen, welche Probleme einmal auf sie und auf ihre Nachfolger zukommen werden.

Die amerikanische Computerkünstlerin Lilian Schwartz hat mit einem Computer Gesichter auf Gemälden verglichen und konnte bei der berühmten Mona Lisa von Leonardo da Vinci unerwartete Aussagen machen. Die Mona Lisa, auch »La Gioconda« genannt, stellt die Ehefrau des florentinischen Edelmannes Francesco del Giocondo dar. Das berühmte Gemälde ist heute in Paris ein Schmuckstück des Louvre und dort ständig von zahlreichen Kunstfreunden umlagert. Generationen von Kunsthistorikern haben sich bisher der Mona Lisa gewidmet, doch das rätselhafte Gemälde hat dabei seine besondere Aura nicht verloren. Es bewahrte nicht nur seine zahlreichen Geheimnisse, sondern konnte sie sogar noch erweitern. Für Leonardo mußte die Mona Lisa eine große Bedeutung gehabt haben, denn das Gemälde blieb stets in seinem Besitz und wurde erst nach seinem Tod von dem französischen König erworben.

Sicherlich wäre Leonardo da Vinci in unserer Zeit von den Möglichkeiten der Computer begeistert gewesen, denn ein Computer half, die Rätsel um seine Mona Lisa noch einmal zu vertiefen. Lilian Schwartz zerlegte mit Hilfe eines leistungsstarken Computers das Gesicht der Mona Lisa zunächst in zwei Hälften, entfernte danach eine Hälfte und ergänzte anschließend die fehlende Gesichtshälfte mit einer entsprechenden Gesichtshälfte aus einem nachgewiesenen Selbstbildnis von Leonardo. Die beiden Gesichtshälften wurden von dem Computer so berechnet, daß sie in ihrer Größe deckungsgleich waren. Die Kombination aus beiden Gesichtshälften zeigte zur allgemeinen Überraschung ein einheitliches Gesicht. Kopfform,

Haaransatz, Augenbrauen, Wangenknochen, Nase sowie Lippen stimmten überein und demonstrierten eine geschlossene Einheit. Der jeweilige Abstand zwischen den inneren Augenwinkeln stimmte als ein besonders individuelles Gesichtsmerkmal in den beiden Gesichtshälften bis auf zwei Prozent überein. Lilian Schwartz folgte aus dem Vergleich, daß Leonardo, als er nach Frankreich ging, die Mona Lisa noch nicht abgeschlossen hatte und das Gemälde später ohne Modell nach seinem eigenen Selbstbildnis beendete. Seine Genialität und sein Können machten es ihm möglich, ein Frauengesicht perfekt mit einem Männergesicht zu überlagern und ein Bildnis der Mona Lisa voller Rätsel und Vielschichtigkeiten zu schaffen.

Ich bedanke mich bei den zahlreichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die zum Gelingen des Buches beigetragen haben; mein besonderer Dank gilt Dr. Gudrun Walter, Dr. Anna Schleitzer und Erwin P. Mark, Wiley-VCH Verlag sowie den Museen und Sammlungen, die Abbildungsrechte zur Verfügung gestellt haben, hervorzuheben sind: Prof. Dr. Josef Riederer (Rathgen-Forschungslabor, Berlin), Dr. Bettina Stoll-Tucker (Landesamt für Archäologie Sachsen-Anhalt, Halle), Dr. Dorothea van Endert (Archäologische Staatssammlung, München), Dr. Andreas Grüger (Kulturhistorisches Museum der Hansestadt Stralsund) und Helga Schütze (Dänisches Nationalmuseum, Kopenhagen).

Dr. Manfred Reitz

Gold und Silber

Gold und Silber haben den Menschen schon immer magisch angezogen. Häufig waren die Metalle Anlass für Kriege und Verbrechen. Um verschollene Gold- und Silberschätze rankt sich manche Abenteuergeschichte, die auch für Schriftsteller »Gold wert« war. Beide Metalle haben für Werkzeuge und Waffen nur eine geringe Bedeutung, aber sie betören durch ihren ausgeprägten Glanz und sind dank ihrer Seltenheit ein Inbegriff von Reichtum und Kostbarkeit. Gold und Silber sind extrem dehnbar und leicht zu bearbeiten. Als Edelmetalle unterliegen sie nur geringfügig den chemischen Einflüssen aus ihrer Umwelt und sind deshalb sehr lange haltbar. Gold und Silber bieten sich an, um das Kostbare und Außergewöhnliche von Kunstwerken auszudrücken. Besonders wertvolle Münzen waren stets aus Gold oder Silber. Über Münzen aus Karthago lernten die Griechen zum Beispiel Palmen kennen und pflanzten sie später in ihren Tempelanlagen an.

Die ersten Goldobjekte wurden aus Seifengold hergestellt. Durch natürliche Verwitterungen werden goldhaltige Gesteine ständig aufgebrochen und beginnen dann zu zerbröseln. Regenwasser kann zuletzt die immer kleiner werdenden Gesteinstrümmer wegspülen und sie in den Sedimenten der Flüsse ablagern. Seifengold stammt aus Flussablagerungen. Werden goldhaltige Sedimente mit Wasser aufgewirbelt, sinken Goldstaub und kleine Goldkörner wegen ihres hohen Gewichtes relativ schnell ab und lassen sich so von dem wertlosen Sand trennen. Der Rhein war früher einmal sehr goldreich und das »Rheingold« wurde als Seifengold bis in das 19. Jahrhundert abgebaut. Berggold hat gegenüber Seifengold einen erhöhten Silberanteil und wird nicht aus Flussablagerungen, sondern mit Bergbautechniken direkt aus goldhaltigen Gesteinen gewonnen. Berggold wurde bereits in der Antike im Tagebau oder mit Hilfe von Schächten und komplizierten Stollensystemen abgebaut. Das alte

Ägypten wurde durch seine großen Goldvorkommen und eine weit fortgeschrittene Technologie reich. Unter Pharaon Thutmosis III. (1504–1450 v. Chr.) soll die Jahresproduktion an Gold etwa 40 Tonnen betragen haben. Das Gestein mit dem Berggold wurde zunächst fein zermahlen und anschließend mit Wasser aufgeschwemmt. Wie beim Seifengold sanken dann die Goldpartikel rasch ab und konnten von dem restlichen Gestein getrennt und gesammelt werden. Das Gold jeder Mine ist durch charakteristische Spurenelemente verunreinigt, sodass auch bei uralten Goldobjekten Aussagen zum Ort der Goldgewinnung und zum Entwicklungsstand der Reinigungsverfahren für Gold möglich sind. Im Wüstensand Ägyptens gibt es noch heute vollständig erhaltene Anlagen, mit deren Hilfe einst das Gold der Pharaonen gereinigt wurde.

Seifengold und Berggold wurden bereits in der Antike aufbereitet, um den teilweise recht hohen Silberanteil von bis zu 20 Prozent zu reduzieren. Bei Goldproben mit einem Silberanteil von weniger als 3 Prozent kann deshalb auch bei historischen Objekten auf vorhergehende Reinigungsverfahren geschlossen werden. Zu den uralten Reinigungsverfahren gehört die Kupellation, bei der Gold zusammen mit Blei geschmolzen wird. Die unedlen Bestandteile des Goldes reagieren bei bestimmten Temperaturen mit dem Blei und werden dabei aus der Verbindung mit dem Gold ausgetrieben, sodass das Gold eine höhere Reinheitsstufe erreicht. Diese Methode war bereits den Ägyptern bekannt. Pharaon Amenophis IV. erhielt im 14. Jahrhundert v. Chr. von dem babylonischen König Burnaburias II. einen Beschwerdebrief mit dem Hinweis, dass von einer Lieferung von 20 Minen Gold nur noch 5 Minen aus dem Feuer kamen und dass in Zukunft die Qualität der Lieferungen verbessert werden sollte. In einem weiteren und ebenfalls sehr alten Verfahren wird Gold mit Salzen und Alaunschiefer vermischt und dann geröstet. Der Anteil an Silber und Kupfer wird dabei in verschiedene Salze umgewandelt und kann abgeschieden werden. Beim später aufkommenden Amalgamierverfahren wird goldhaltiges Gesteinspulver mit Quecksilber behandelt, sodass sich das Gold als ein so genanntes Amalgam binden kann. Das Amalgam wird anschließend vom Sand getrennt und danach erhitzt, bis das Quecksilber verdampft ist und gereinigtes Gold zurückbleibt. Bei fehlenden Schutzmaßnahmen ist dieses Verfahren sehr gesundheitsschädlich, und Goldsucher wurden früher aus diesem Grund meist nicht alt. Zur Goldgewinnung

wurden deshalb schon in der Antike meist Kriegsgefangene, Verbrecher oder Sklaven eingesetzt.

Die erste überlieferte Materialanalyse einer Goldprobe wurde von Archimedes sogar zerstörungsfrei durchgeführt. König Hieron II. von Syrakus hatte Zweifel an der Reinheit seiner goldenen Krone und vermutete einen Betrug der Goldschmiede. Archimedes bestimmte das Gewicht der Krone in der Luft und im Wasser. Danach konnte er die Dichte des Goldes der Krone berechnen und dem König beweisen, dass Betrug im Spiel gewesen war. Die Goldschmiede hatten einen Teil des Goldes zur Herstellung der Krone abgezweigt, den Rest geschmolzen, mit Silber gestreckt und erst anschließend verarbeitet. Archimedes war ihnen auf die Schliche gekommen.

Moderne Fälschungen von antiken Goldobjekten können leicht durch eine Feinanalyse der Spurenelemente im Gold nachgewiesen werden. Die Spurenelemente in den meisten historischen Goldobjekten sind heute durch vergleichende Untersuchungen bekannt, außerdem gibt es noch zahlreiche Analysen der Spurenelemente in historischen Goldlagerstätten. Gold aus neuzeitlichen Goldminen kann über seine spezifischen Spurenelemente identifiziert werden und lässt sich klar von den Erzeugnissen aus antiken Goldminen abgrenzen. Wenn Fälscher moderne Goldobjekte einschmelzen, um den Rohstoff für ihre Fälschung zu erhalten, bleiben stets Spuren des Lötmaterials zurück, die ebenfalls erkannt werden können. Bei der Analyse der Spurenelemente im Gold wird das untersuchte Objekt kaum beeinträchtigt. Ein winziger Oberflächenausschnitt wird so lange mit einem energiereichen Laser bestrahlt, bis geringste Goldmengen verdampfen. Die verdampften Atome werden anschließend auf eine Temperatur von 8000 Grad Celsius gebracht, wobei elektrisch geladene Teilchen entstehen, die über ihre Ladung einer Analyse zugänglich sind. Mit der Methode lassen sich 50 bis 70 verschiedene Spurenelemente noch in trillionenfacher Verdünnung erfassen. Durch solche Feinanalysen konnte sogar ein antiker Goldraub geklärt werden. Die chemische Zusammensetzung der Goldschätze aus dem Zeustempel von Olympia im antiken Griechenland ist heute bekannt und dokumentiert. In der antiken Stadt Pisa bei Olympia wurde einmal eine Münze gefunden, die in ihrer Zusammensetzung genau dem Goldschatz aus dem Zeustempel entspricht. Aus der Geschichte ist nun überliefert, dass sich die Städte Pisa und Elis einst um die Austragung der Olympische Spiele

stritten, wodurch es sogar zum Krieg kam. Die Verbündeten von Pisa plünderten bei dieser Gelegenheit den Zeustempel und wurden später mit extra geprägten Goldmünzen aus dem Raub belohnt.

Betrügereien mit Gold sind uralte. In Rom gab es sogar Werkstätten für eine Pseudovergoldung. Auf Messingstatuen konnte zum Beispiel eine dünne Zinnschicht mit eingebettetem Kupfereisensulfid aufgeschmolzen werden, sodass die Statue aussah, als wäre sie aus Gold. Kupfer ließ sich optisch in »Gold« umwandeln, indem es mit Eisensulfid, Kupfersulfat und Blei vermischt geschmolzen wurde.

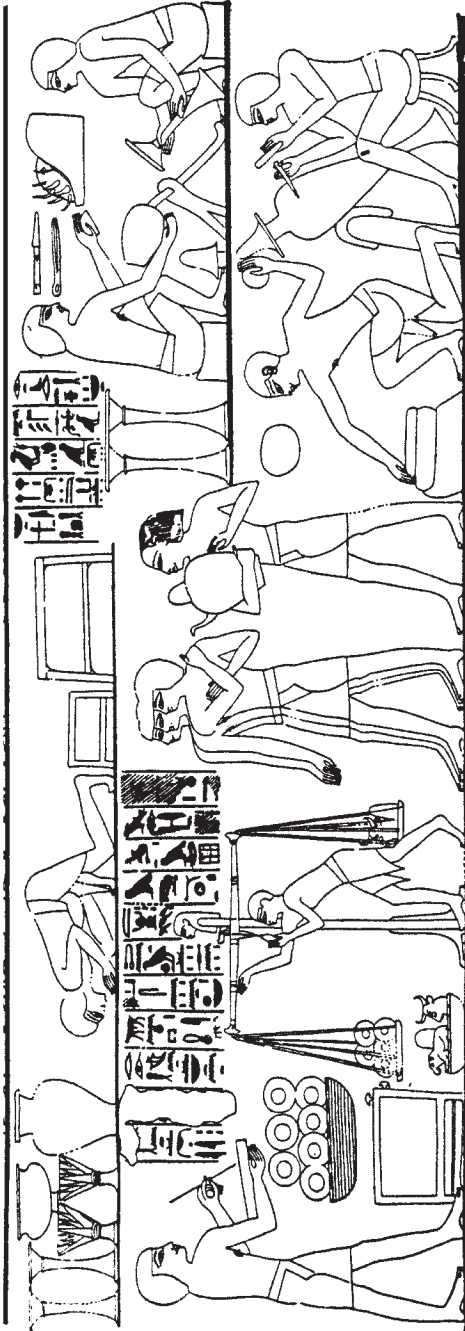
Die Goldschmiedekunst stand schon früh in großer Blüte. Zahlreiche Kulturen hinterließen Goldobjekte von höchster Qualität. Gold ist extrem dehnbar und kann bis zu einer Dicke von nur 1/8000 Millimeter ausgewalzt werden. Die Goldschmiede der indischen Hochkulturen in Südamerika konnten Goldfolien mit einer Dicke von durchschnittlich 0,15 Millimeter hämmern; in Einzelfällen gab es sogar noch dünnere Goldfolien. Neben dem Goldblech bildeten früher Golddraht und Goldkugeln Ausgangsmaterialien zur Goldverarbeitung. Moderne Golddrähte sind gezogen. Aus einem einzigen Gramm Gold lässt sich heute ein Draht von drei Kilometern Länge ziehen. In der Antike wurden dagegen Goldstäbe zunächst zu dünnen Fäden ausgehämmert und anschließend miteinander verdreht. Antike Goldfäden erscheinen deshalb sehr individuell und können unter einem Mikroskop deutlich von einem gezogenen Goldfaden unterschieden werden. Moderne Fälscher scheuen meist den mühevollen Weg, einen Goldfaden in der antiken Technik zu produzieren und scheitern deshalb oft bereits am mikroskopischen Vergleich.

Mit der Technik des Metallgusses wurden in der Frühzeit der Goldverarbeitung überwiegend kleinere Objekte hergestellt, da wegen der intensiven Luftzufuhr beim Schmelzvorgang nur mit recht kleinen Tiegeln gearbeitet werden konnte. Der Guss erfolgte zunächst in Steinformen. Erst die Ägypter erfanden um 2000 v. Chr. hohl gegossene Goldobjekte in verlorener Form. Größere Objekte wurden früher vergoldet. Die ausgehämmerte Goldfolie wurde entweder mit ihrer Unterlage verklebt oder auf eine aufgeraute Oberfläche mit Druck eingepresst. Durch Druck und Hitze gelang es auch, Goldfolien fest auf Metallunterlagen aufzuschmelzen. Materialanalysen können zusätzlich belegen, dass Objekte zum Vergolden

auch in geschmolzenes Gold eingetaucht wurden. Besonders beständig war die Feuervergoldung, die allerdings erst in der römischen Kaiserzeit weite Verbreitung fand. Bei dieser Methode werden Quecksilber und Gold vermischt und dann auf ein Objekt aufgetragen. Im Feuer verdampft das Quecksilber, zurück bleibt eine feine und fest aufsitzende Goldschicht. Ernsthaft diskutiert wird auch die galvanische Vergoldung mit elektrischem Strom. In Mesopotamien wurden Tongefäße gefunden, die ein Kupferrohr und einen durch Bitumen isolierten Eisenstift enthielten. Füllt man in ein solches Gefäß Essig, dann ergibt sich eine elektrische Spannung von etwa 1,5 Volt. Für das galvanische Bad wurde das Gold möglicherweise in Cyanverbindungen aus Pfirsichkernen oder bitteren Mandeln gelöst.

Die Technik der Granulation war bereits den Sumerern bekannt, ging aber am Ende der Antike verloren und wurde erst Jahrtausende später wiederentdeckt. Bei einer Granulation werden winzige Goldkügelchen ohne einen Lötvorgang fest mit einer Metallunterlage verbunden. Meister der Granulierung waren die Etrusker. Sie konnten bereits im 7. Jahrhundert v. Chr. Goldkügelchen mit einem Durchmesser von nur 0,125 Millimetern herstellen und fest auf einer Unterlage anbringen. Eine Goldschale aus der Zeit um 600 v. Chr. mit einem Durchmesser von 10 Zentimetern zum Beispiel ist mit etwa 137 000 Goldkügelchen besetzt. Fachleute standen bei der Beurteilung dieser Arbeitstechnik lange vor einem Rätsel. Erst 1933 gelang es, das Geheimnis der etruskischen Goldschmiede zu lüften: Die Kügelchen wurden mit einer Paste aus Fischleim, Kupferhydroxid und Wasser auf eine Unterlage aufgeklebt und das gesamte Objekt anschließend erhitzt. Der Fischleim verbrannte dabei zu Kohlenstoff und das Kupferhydroxid wurde zu Kupfer reduziert. Während dieser Reaktion bildete sich außerdem eine Kupfer-Gold-Legierung, die das Kügelchen fest mit der Unterlage verband. Von den Etruskern stammen auch künstliche Zähne, die mit Goldbändern verlötet wurden und dann exakt passend, ohne zu scheuern, als Zahnprothese im Mund verankert werden konnten. Diese Kunstfertigkeit wurde von den nachfolgenden Zahnarztgenerationen erst im 19. Jahrhundert wieder erreicht.

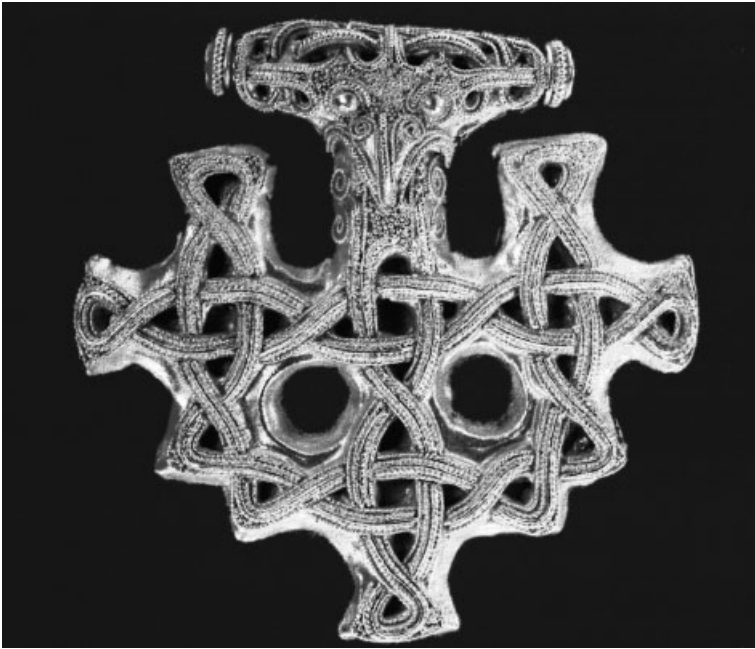
Meister in der Herstellung von Goldlegierungen waren die Goldschmiede der indianischen Hochkulturen. Um den Schmelzpunkt von Gold herabzusetzen, vermischten sie es mit Kupfer und gewan-



Metallarbeiter vergolden Gefäße und ziselieren sie.

Skizze nach einer altägyptischen Malerei.

Links notiert ein Schreiber das in Form von Ringen angelieferte Gold, das sofort gewogen wird. Rechts wird das Gold zu einer dünnen Folie geschlagen und anschließend auf unterschiedliche Gefäße aufgetragen.



Feine Goldschmiedearbeit eines Kreuzes aus dem Schatz der Wikinger von Hiddensee, Ostsee. Der Goldschmied kombinierte christliche Ausdrucksformen mit Elementen der ursprünglichen Wikingerreligion. Der Schatz wurde 1872 durch einen Sturm am Strand freigespült. Er ist etwa 1000 Jahre alt und stammt von dem dänischen Wikingerfürsten Harald Blauzahn, der nach Auseinandersetzungen mit seinem Sohn Svend Gabelbart fliehen musste und seine Schätze auf der Insel Hiddensee versteckte. Der Schatz von Hiddensee ist die einzige Goldschmiedearbeit der Wikingerzeit mit einer Goldgranulation. Der gemeinsame Wert aller Objekte wird auf 50 bis 60 Millionen Euro geschätzt. (Kulturhistorisches Museum, Stralsund)

nen das Tumbaga, das bereits bei etwa 880 Grad Celsius schmilzt. Durch besondere Oberflächenbehandlungen gelang es ihnen auch, den Kupferanteil aus der Oberfläche zu entfernen, wonach das Objekt wie aus reinem Gold gefertigt wirkte. Die spanischen Eroberer wurden durch solche Objekte in einen wahren Goldrausch versetzt und waren immer wieder überrascht, wenn nach dem Einschmelzen nur wenig Gold übrig blieb. Aus Ekuador stammt eine technisch für

unmöglich gehaltene Gold-Platin-Legierung der indianischen Hochkulturen. Platin schmilzt erst bei 1773 Grad Celsius und niemand konnte erklären, wie die Indianer eine derart hohe Temperatur erreicht haben konnten. Verschiedene Experimente klärten schließlich das Rätsel. Die Goldschmiede hatten etwa 80 Prozent feinsten Platinstaub mit 20 Prozent Goldgranulat vermischt und anschließend das Gold zum Schmelzen gebracht. Danach wurde die Mischung kräftig gehämmert, bis die ungeschmolzenen Platinteilchen völlig flach waren und sich fest mit dem Gold verbunden hatten.

Silber wurde im Gegensatz zu Gold immer durch Bergbaumethoden gewonnen, es konnte nicht aus Fluss-Sedimenten herausgefiltert werden. In der Antike war es in manchen Gegenden wertvoller als Gold. Reines Silber wird in der Natur jedoch nur selten gefunden. Meist treten Silberminerale oder Silberbeimengungen im Bleiglanz auf, weshalb bei der Silbergewinnung Blei als Nebenprodukt anfällt. Ähnlich wie beim Gold geben auch beim Silber spezifische Verunreinigungen Auskunft über den Ort der Silbermine und über Verarbeitungstechniken. Durch die Spurenanalyse ließ sich an verschiedenen griechischen Silbermünzen zeigen, dass Korinth sein Münzsilber lange aus Athen bezog. Ein wichtiger Silberlieferant der Antike war Spanien, und es wird berichtet, dass sogar die Anker der Schiffe aus Silber gefertigt wurden, um sie bei der Ankunft ebenfalls zu verkaufen. Die Reinheit des Silbers wurde früh durch »Aufspratzen« überprüft: Reines Silber nimmt beim Erhitzen viel Sauerstoff auf, der an der Oberfläche als kleine Bläschen zerplatzt, wenn das Objekt wieder abgekühlt wird.

Die Arbeitstechniken der Silberschmiede zeigen zu den Techniken der Goldschmiede kaum Unterschiede. Silber lässt sich wie Gold hämmern, treiben und ziehen. Objekte werden sowohl gegossen als auch durch Hämmerarbeiten aus dem Silberblech herausgetrieben. Zur Versilberung von Objekten wurden ähnliche Methoden wie bei einer Vergoldung herangezogen. In der Zeit vor 600 v. Chr. waren Silberobjekte stets mit 0,4 bis 1,0 Prozent Gold verunreinigt. Erst um 600 v. Chr. gelang es, den Goldgehalt im Silber durch neuartige Reinigungstechniken auf ein Hundertstel des vorherigen Goldgehaltes zu reduzieren. Frühe antike Silberobjekte müssen deshalb mit Gold verunreinigt sein, um als echt anerkannt zu werden. In Nordeuropa war in der Antike Silber ein sehr seltenes Metall und spektakuläre Silberfunde stellten meist die Kriegsbeute von germa-



Römisches Votivblech aus Silber aus der Zeit der Völkerwanderung; dargestellt sind Minerva (mitte), Merkur (rechts) und Apollo (links). Das Blech ist 25 cm hoch und Teil des Schatzfundes von Weißenburg: Ein Studienrat wollte 1979 in Weißenburg südlich von Nürnberg ein Spargelbeet anlegen und stieß dabei auf einen umfangreichen Tempelschatz, der von den Bewohnern einer nahe liegenden römischen Siedlung vor einfallenden Germanen versteckt worden war. (Museum für Vor- und Frühgeschichte, München)

nischen Fürsten dar; der »Hildesheimer Silberfund« besteht zum Beispiel aus 69 kostbaren Stücken der römischen Kaiserzeit. Bekannt wurde auch der »Kessel von Gundestrup«, der einst in einem dänischen Moor gefunden wurde und keltischen Ursprungs ist. Die Verbreitung von frühen Silbermünzen beschränkte sich überwiegend auf die Siedlungsgebiete der Griechen und Römer, bei anderen Völkern waren Silbermünzen kaum in Gebrauch.

Bei den Ostgoten drücken nach modernen Analysen Silberfibeln den sozialen Stand ihrer einstigen Besitzer aus, denn der Silbergehalt dieser Gewandnadeln kann zwischen 20 und 90 Prozent schwanken. Hinweise zur Erklärung dieser beachtlichen Qualitätsunterschiede ergeben sich aus alten Aufzeichnungen. Die Silberschmiede erhielten zur Herstellung der Fibeln von ihren Kunden Silbermünzen als Rohmaterial. Die Silbermünzen wurden dann eingeschmolzen und verarbeitet. Ärmere Ostgoten besaßen nicht genügend Silbermünzen und mussten deshalb auch Kupfer- oder Messingmünzen zum Einschmelzen bringen. Ihre Gewandnadeln zeichneten sich somit durch einen geringeren Silbergehalt als bei ihren reicheren Zeitgenossen aus. Der Kunst des Silberschmiedes war es dann zu verdanken, dass die Fibeln trotzdem aussahen, als wären sie aus reinem Silber gefertigt.

Wachs

Honig war über Jahrtausende der wichtigste aller Süßstoffe. Schon früh wurden deshalb als Nebeneffekt auch die Materialeigenschaften von Wachs entdeckt. Der Imker war bereits im alten Ägypten ein anerkannter Beruf; neben dem Honig fiel bei seiner Arbeit regelmäßig das Wachs der Honigwaben an. Aus Bienenwachs wurden am Nil schon um 2000 v. Chr. kleine Figuren und Amulette hergestellt. Weit häufiger war Bienenwachs jedoch ein Bindemittel für Farbpigmente und Kosmetika oder diente zum Abdichten von Gefäßen oder sogar Schiffsrümpfen. Mancher Gefäßstopfen wurde aus Wachs gefertigt. Durch den Zusatz von Harzen, Fetten oder Ölen ließen sich die Materialeigenschaften von Wachs immer wieder variieren, insbesondere der Schmelzpunkt konnte erhöht werden. Wachs wurde dabei vielseitiger und auch haltbarer. Römische Familien stellten ihre Hausgötter als Wachsfiguren auf und ließen auch Kinderspielzeug aus Wachs anfertigen. Zahlreiche, zum Teil noch heute gebräuchliche Ziergegenstände wie etwa Früchte oder kleine Tiere waren bei durchschnittlichen römischen Familien aus Wachs, da sich nur die Oberschicht teure Metallobjekte leisten konnte. Totenmasken und Bildnisse von verstorbenen Angehörigen wurden aus Wachs gefertigt.

Neben dem Bienenwachs war schon früh der Walrat aus Walen als weiteres tierisches Wachs bekannt. Erst später kamen die Pflanzenwachse und das Paraffin als mineralisches Wachs hinzu. An Wallfahrtsorten wurden seit dem Mittelalter kleine Weihegaben als Wachsfiguren hinterlassen. In manchen Kirchen waren Wachsfiguren sogar lebensgroß und wuchsen in ihrer Zahl ständig an. In Florenz besaß die Kirche Santa Annunziata im 17. Jahrhundert etwa 600 lebensgroße Wachsfiguren. Antoine Besnoit erhielt Ende des 17. Jahrhunderts das Privileg, bedeutende Persönlichkeiten in Wachs nachzubilden zu dürfen. Aus diesem Brauch entwickelten sich

später die Wachsfigurenkabinette, die keine religiösen oder künstlerischen, sondern nur noch dokumentarische Absichten verfolgen.

Seine größte Bedeutung erlangte Wachs bereits in der Antike für den Bronzeguss, der meist nach dem Wachsauerschmelzverfahren erfolgte. Bei einem Vollguss wurde das gesamte Modell zuerst aus Wachs hergestellt und anschließend von einem Tonmantel umgeben. Folgte nun eine Erwärmung, so schmolz das Wachs und konnte mühelos entfernt werden, sodass der Raum für das Gussmaterial frei wurde. Nach dem Einfüllen des Materials, Abkühlen und Zerschlagen des Tonmantels war die Arbeit beendet. Bei einem Hohl-guss wurde das Modell aus Ton gefertigt und anschließend mit einer Wachsschicht überzogen. An dieser Wachsschicht konnte noch eine Feinbearbeitung erfolgen, um die eigentliche Oberfläche des Objektes zu modellieren. Nach diesen Arbeitsschritten wurde das Objekt von einer Tonschale umgeben. Es schloss sich das Ausschmelzen des Wachses an. Das flüssige Wachs floss durch vorgegebene Öffnungen ab und gab einen Hohlraum frei, in den das Gussmaterial eingebracht werden konnte. Durch die Technik des Hohl-gusses konnten sehr dünnwandige Objekte hergestellt werden: Die Dicke der Wachsschicht bestimmte die Wandstärke des gegossenen Objektes. Es wurde mit dieser Methode weit weniger Bronze als für einen Vollguss benötigt und das fertige Objekt war deutlich leichter. Wachsmodelle für den Metallguss gab es bereits um 3000 v. Chr. in Mesopotamien. Ein ägyptisches Relief aus der Zeit um 1500 v. Chr. zeigt, wie Metallhandwerker an zahlreichen Schmelz-öfen das Gussmaterial mit Hilfe von Blasebälgen schmelzen und anschließend in genau festgelegter Reihenfolge durch viele kleine Trichter in den Mantel um das Objekt einfüllen. Die Technik der Wachsauerschmelzung für den Metallguss war auch den indianischen Hochkulturen bekannt. Sie verwendeten Wachs nicht nur zum Aufbau von Gussformen, sondern auch als Klebstoff für Federn oder Mosaiksteinchen. Bei den Maya gehörten Wachslieferungen zu den Tributeleistungen der unterworfenen Gegner, Wachs war außerdem ein lohnender Exportartikel.

Römische Töpfer tränkten ihre Keramikgefäße nach dem Brand oft in Wachs, um sie abzudichten. Aus den Scherben solcher Gefäße konnte inzwischen sogar das Wachs isoliert und analysiert werden. Es handelte sich fast immer um Bienenwachs, das oft sogar noch Pflanzenpollen und Reste von Insekten enthielt. Über diese

Pflanzenpollen sind Aussagen zur Pflanzenwelt im Römischen Reich möglich. Es konnte geklärt werden, ob die Bienen den Honig in landwirtschaftlich genutzten Gebieten gesammelt hatten oder ob er überwiegend aus der Naturlandschaft stammte. Auswertungen der Untersuchungen ergaben, dass damals im Landschaftsbild ausgedehnte Getreidefelder mit Nadelwäldern abwechselten.

Wachs war den Römern auch für die Beleuchtung wichtig und trat in Konkurrenz zur Öllampe. Wachskerzen gab es zuerst im Römischen Reich. Sowohl bei den Griechen als auch den Römern diente Wachs als Überzug von Schreibtafeln. Mit einem besonderen Griffel wurde auf dieser Wachsschicht geschrieben. War der Text nicht mehr von Interesse, konnte das Wachs mit dem Griffel geglättet und erneut verwendet werden. Die kleinen Schreibtafeln wurden mit Schnüren verbunden; zwei Schreibtafeln hießen Diptychon und drei Schreibtafeln Triptychon. Diese uralten Begriffe gingen später in die Malerei ein und bezeichnen heute ein Bild aus zwei beziehungsweise drei einzelnen Tafeln. Der Wachsschicht der Schreibtafeln waren meist Zusätze wie Talk oder Harz beigemischt, um Materialeigenschaften zu verbessern. Auch wurden Farbpigmente wie gelber Ocker oder Holzkohlenschwarz zugesetzt, um den Kontrast und damit die Lesbarkeit der Schrift zu verbessern.

In der antiken Literatur gibt es zahlreiche Hinweise auf das Punische Wachs, das für Maler wichtig war und die Grundlage der Wachsfarben bildete. Die Herstellung von Punischem Wachs wurde von Plinius beschrieben. Bienenwachs wurde in Meerwasser mit einem Sodazusatz gekocht, bis es rein weiß war. Danach wurde es abgeschöpft und mit Farbpigmenten versetzt. Künstler trugen ihre Wachsfarben heiß auf und erreichten so nach dem Erkalten eine gute Beständigkeit der Malfläche gegenüber Feuchtigkeit. Die antike Wachsmaltechnik wird Enkaustik genannt und fand bei vielen Mumienporträts Verwendung. Im Katharinenkloster auf Sinai gibt es noch heute auf diese Weise gefertigte, sehr alte Ikonen. Die Medizin war ein weiteres Einsatzgebiet für das Punische Wachs. Es diente beispielsweise als Bindemittel für Arzneistoffe.

Die »Büste der Flora«, die Leonardo da Vinci zugeschrieben wird, ist ein Beispiel für intensive Wachsanalysen in der Kunst. Diese etwas lädierte Wachsbüste war 1909 von einem englischen Sammler zu einem Spottpreis in London gekauft worden und wurde schlagartig berühmt, als sie von Kunstsachverständigen dem großen Leo-

nardo zugeschrieben wurde. Anschließend erwarben die Preußischen Kunstsammlungen in Berlin die Büste für den damals horrenden Preis von 160 000 Mark. Um die Büste entbrannte ein Streit, als der englische Bildhauer Lucas behauptete, er habe die Büste selbst modelliert. Als Beweis gab er Stoffreste in ihrem Inneren an, die ihm bei der Herstellung zur Verbesserung der Stabilität gedient hätten. Diese Stoffreste wurden später tatsächlich gefunden, aber sie wurden als Überbleibsel einstiger Restaurierungsarbeiten und nicht als Beweis einer Fälschung interpretiert. Umfangreiche Wachsanalysen der Büste ergaben, dass sich das Material klar vom Wachs aus anderen Arbeiten im Werk von Lucas unterschied und dass Reste von Pflanzen aus Italien nachweisbar waren. Für eine Herkunft aus der Renaissance sprach außerdem die Bemalung der Büste. Es waren originale Farben aus dieser Zeit verwendet worden, und als Farbtäger dienten Flechten, die nachweislich aus Italien stammten. Daneben wurden rote Krappkörner gefunden, die wie in der Renaissance üblich mit der Hand zerkleinert und nicht wie zur Zeit von Lucas maschinell bearbeitet worden waren. Die Technik der Bemalung verriet höchstes Können, insbesondere bei der Gestaltung der Haare musste ein Meister am Werk gewesen sein. Die Farben waren in Schichten aufgetragen worden und ließen Farbeffekte auf verschiedenen Ebenen zu. Der Schöpfer der Büste musste Lucas technisch weit überlegen gewesen sein; zwischen den Arbeiten von Lucas und der Büste gab es klare Qualitätsunterschiede. Studien zur Herkunft der Büste ergaben, dass sie nie Lucas persönlich gehört hatte, sondern ihm von einem Gönner nur leihweise zur Verfügung gestellt worden war. Wäre er Schöpfer der Büste gewesen, dann hätte man sicherlich einen ersten Käufer des Werkes ermitteln können, doch ein solcher ließ sich nie finden. In einem Traktat über die Malerei hatte Leonardo einst berichtet, dass ein Künstler plastische Modelle anfertigen sollte, um für seine Arbeiten Schattenstudien betreiben zu können. Die »Büste der Flora« könnte durchaus ein solches Modell gewesen sein und von Leonardo oder aus seinem Umfeld stammen. Für eine Urheberschaft von Lucas sprach zunächst ein hoher Anteil von Walrat am Wachs der Büste. Walrat war in der Renaissance in Italien noch weitgehend unbekannt und kam vermutlich nicht vor dem 17. Jahrhundert in Europa in den Handel. Diesen Widerspruch zu lösen, halfen Literaturrecherchen. Shakespeare erwähnte in einem seiner Dramen den Walrat, und Pharma-

zeuten benutzten dieses tierische Wachs schon seit Jahrhunderten zur Salbenherstellung. Walrat muss demnach bereits in der Renaissance bekannt gewesen sein, und einem Genie wie Leonardo kann durchaus zugetraut werden, auch der damals exotischen Substanz experimentiert zu haben.



Büste der Flora. Die Wachs­büste wird insbesondere wegen der exakten Darstellung der Frisur Leonardo da Vinci zugeschrieben. Möglicherweise ist sie jedoch eine Fälschung und stammt aus der Zeit um 1846. (Staatliche Museen zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz, Skulpturensammlung)

Der Streit um die Büste der Flora ist noch nicht vollständig abgeschlossen. Insbesondere einige Leonardo-Experten schreiben sie immer noch dem großen Renaissancegenie zu. Nach ihren Vermutungen wurde ein Original aus der Renaissance durch spätere Restaurierungsarbeiten verfälscht. Die Radiocarbonmethode gibt für das Wachs allerdings ein Alter von etwa 250 Jahren an. Das Wachs wäre also für einen Gebrauch durch Lucasvel zu alt und für einen Gebrauch durch Leonardo da Vinci hingegen viel zu jung gewesen.