

■ IM AMT – Tel. 089/2114-0

Methoden des Zentrallabors im Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege

Teil 2: Endoskopie

Dieser Beitrag ist unserem verstorbenen Kollegen Restaurator Erwin Mayer (1952–2003) gewidmet. Seiner intellektuellen Zielstrebigkeit ist die hier beschriebene endoskopische Untersuchung des Schutzengels von Ignaz Günther aus dem Münchner Bürgersaal zu verdanken.

Allgemeiner, naturwissenschaftlicher und historischer Hintergrund

Die medizinische Endoskopie reicht bis in die Antike zurück, sie bediente sich anfangs lediglich vergleichsweise einfacher, kleiner Spiegelsysteme. Bereits in diesen ersten Anfängen manifestiert sich jedoch die – keineswegs später zu allen Zeiten selbstverständliche – Einsicht, dass viele Krankheitssymptome im menschlichen Körper räumlich klar begrenzte Ursachen haben, dementsprechend lokal diagnostiziert und zielgerichtet behandelt werden können.

Die materialkundliche Endoskopie ist als bescheidener, moderner Ableger der medizinischen Endoskopie zu verstehen: Mit Hilfe eines lichtoptischen „Schlüsselloch-Beobachtungssystems“ wird ein Bild von einem andernfalls nicht direkt einsehbaren, meist nicht beleuchteten Innenraum-Szenario erzeugt. Typische Untersuchungsobjekte in Denkmalpflege und Restaurierung sind architektonische Hohlräume unterschiedlichster Art sowie Plastiken aus Metall oder Holz.

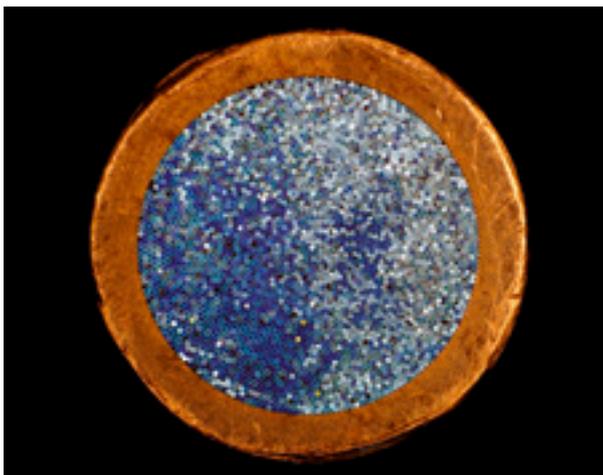


Abb. 1. Blick auf die Stirnseite eines zur endoskopischen Beleuchtung eingesetzten Glasfaser-Lichtleiters. Der Durchmesser des hier gezeigten Faserbündels liegt ohne Fassung bei 4,5 mm. Die haarfeinen, knapp 0,1 mm starken Glasfasern dieses Lichtleiters, über 3500 Stück, sind eher von der groben Sorte: Bei den verwandten endoskopischen Bildleitern kommen noch viel feinere Glasfasern zum Einsatz, die einen etwa 10fach geringeren Durchmesser aufweisen und streng kontrolliert angeordnet sein müssen – sonst würde das transportierte Bild kaleidoskopisch zerwürfelt werden



Abb. 2. Das klassische Stab-Endoskop hat einen Arbeitsdurchmesser von 1 cm und eine nutzbare Länge von 1 m. Der Bildleiter dieses Endoskoptyps besteht im Regelfall aus einer Zylinderlinsenketten. Im Endoskoprohr ist zudem ein Glasfaser-Lichtleiter integriert, der die sehr helle Strahlung einer externen Kaltlichtquelle auf das jeweilige Objekt richtet. Die Linsenoptik ist fokussierbar und löst im Vergleich zu einer Glasfaseroptik merklich besser auf. Vorteil: robust und leicht zu bedienen. Die auf vielen Endoskopen in der Nähe der Einblicköffnung angebrachte, kryptische Kennziffernkette lässt sich mit Hilfe des Wikipedia-Eintrags „Endoskop“ dechiffrieren. Nachteile des Stabendoskops: Beschränkung auf geradlinige Wege, vergleichsweise enges Gesichtsfeld, Einschränkungen in der Veränderbarkeit des Blickwinkels

Das materialkundliche Endoskop besteht im einfachsten Fall nur aus einem miniaturisierten, lichtoptischen Beobachtungssystem, das in der Regel durch eine kräftige Hilfsbeleuchtung unterstützt werden muss. Ein Blick in die einschlägige Literatur zeigt, dass die meisten heute eingesetzten Endoskope vor 30 Jahren noch nicht vorstellbar waren. Die technische Entwicklung ist vermutlich auch jetzt noch keineswegs abgeschlossen. Jedenfalls mag schon der schnelle Lupenblick auf das „Gesicht“ eines endoskopisch einsetzbaren Lichtleiters (Abb. 1) mit über 3500 Glasfasern geeignet sein, auch notorische Zweifler von der grundsätzlichen Leistungs- und Entwicklungsfähigkeit menschlicher Zivilisation zu überzeugen.

Die Gestaltung des Beobachtungssystems

Stab-Endoskope ältester Bauart (Abb. 2) überbrücken naturgemäß nur eine gerade Sichtlinie ohne Hindernisse. Die Bildweiterleitung im Metallstab erfolgt durch eine Zylinderlinsenketten (googeln Sie doch einfach mal im Internet nach „endoscopy rod lenses“!). Stab-Endoskope können, wenn sie in gepflegtem Zustand sind, auch heute



Abb. 3. Ein flexibles „Faserendoskop“ aus den 1990er Jahren mit integrierter Batteriebeleuchtung (in der Abbildung nach rechts ragendes, silbriges Bauteil). Arbeitsdurchmesser 6 mm, nutzbare Länge 1 m. Licht- und Bildleiter in Glasfasertechnik. Der Endoskopkopf kann mit Hilfe des schwarzen Kipphebels auf der Operatorseite per Bowdenzug ähnlich wie ein Finger gekrümmt werden, so dass in der Praxis die meisten erforderlichen Betrachtungsperspektiven erreicht werden können. Vorteil: klein, leicht, transportabel, funktioniert auch bei komplizierten Objektgeometrien. Nachteil: gering aufgelöstes, „pixeliges“ Bild, extrem kleines Gesichtsfeld

noch viele Inspektionsprobleme lösen und liefern eine für die meisten Anwendungen akzeptable Bildqualität.

Flexible Endoskope älterer Bauart (Abb. 3) erzeugen ihr Bild praktisch durchwegs mit Hilfe von Miniaturobjektiven, die das Objektbild auf die Stirnseite eines Glasfaserbündels projizieren und von dort via Glasfaser weiter zur



Abb. 4. Die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt finanzierte Endoskopie-Videoausrüstung des Zentrallabors erlaubt eine Beobachtung großer Volumina über längere Entfernungen hinweg, bei immer noch akzeptabler Bildqualität (19 Jahre nach der Anschaffung!). Abhängig von den jeweiligen Anforderungen können Kameraführung und Hilfsbeleuchtung vorab im Zentrallabor für die jeweilige Anwendung vorbereitet werden – es handelt sich insofern um ein sehr variables, flexibel einsetzbares Baukastensystem. Der rote Pfeil im Foto zeigt auf den Videokopf mit 12 mm Durchmesser. Die nutzbare Länge beträgt 2 m. Das Endoskop lässt sich auf unterschiedliche Entfernungen, von wenigen Zentimetern bis hin zu unendlich exakt fokussieren (alle Fotos: BLfD, Martin Mach)

Okularoptik leiten. Jede einzelne Glasfaser überträgt hierbei quasi nur einen Bildpunkt vom Objekt zum Beobachter. Auch wenn man auf diese Weise viele tausend Fasern kunstvoll und streng geordnet in ein Glasfaserkabel packt, bleibt die Bildauflösung gemessen an heutigen Qualitätsansprüchen immer noch sehr bescheiden. Wer würde auch schon eine Kamera kaufen, deren Bildpunktzahlauflösung sich in bescheidenen „Kilopixeln“ – statt der handelsüblichen „Megapixel“ – ausdrücken lässt? Beim ersten Blick durch ein flexibles Glasfaserendoskop werden die meisten Betrachter dementsprechend enttäuscht sein: Das Bildfeld erscheint merklich gerastert, erinnert an ein Bienenwaben-system. Auch lässt das vergleichsweise enge Gesichtsfeld die Assoziation „etwas Licht am Ende des Tunnels“ aufkommen. Markante Szenarien, wie z. B. eine abgefallene Schraube oder eine farblich stark kontrastierende Struktur sind allerdings auch unter diesen Umständen ohne Weiteres erkennbar, weshalb flexible Glasfaserendoskope für einfache Erkennungsaufgaben, auch an schwer zugänglichen Objekten, meist ausreichen.

Die heute am weitesten verbreiteten *Video-Endoskopiesysteme* (Abb. 6, auch Abb. 4) beruhen auf einem völlig anderen Prinzip. Sie erzeugen das endgültige Bild bereits am Faserkopf. Dort ist quasi eine winzige Digitalkamera eingebaut, deren Bildinformation elektrisch zu einem Beobachtungsmonitor oder Computer weitergeleitet werden kann. Es versteht sich von selbst, dass auf diese Weise die Vorteile einer direkten Computeranbindung, digitalen Bildverarbeitung und komfortablen Videodokumentation zum Tragen kommen.

Praxiswichtig: Die Positionierung des Beobachtungssystems und weitere Verfeinerungen

Ein Endoskop zeigt per se etwas paradoxe Eigenschaften: Einerseits soll es flexibel sein, sich über schwierige Hindernisse hinweg schlangengleich auf eine entfernte Beobachtersposition begeben können. Einmal am Ziel angekommen wäre es jedoch ideal, wenn das Gerät seine jeweilige Beobachtersposition absolut zitterfrei halten könnte – damit die Fotos nicht verwackeln. Aufwendigere Endoskope werden deshalb durch halbstarre Stützkonstruktionen, manchmal über mehrere Meter hinweg, zum Zielpunkt geführt. Erst anschließend wird, beispielsweise durch eine ferngesteuerte Drehung des Faserendokopfes nach allen Richtungen und eine exakte Fokussierung das interessierende Objektdetail im bestmöglichen Betrachtungswinkel erfasst. Mit Hilfe von Sonderkonstruktionen können sogar Materialproben entnommen und nicht allzu komplizierte mechanische Operationen ferngesteuert ausgeführt werden.

Die Hilfsbeleuchtung

Im Endoskop eingebaute Lichtquellen sind in der Regel nur zur Ausleuchtung von Distanzen bis etwa 50 cm geeignet. Typische denkmalpflegerische Objekte (Figuren-Innenräume, Fehlböden, Lüftungskanäle etc.) zeichnen sich außerdem durch stark lichtabsorbierende, dunkle Oberflächen aus, deren Abbildung nur durch entsprechend starke Lichtquellen zu beherrschen ist. Bei größeren Innenräu-



Abb. 5. Endoskopie mit einer flachen Digitalkamera durch einen Spalt zwischen Figur und Gebäudewand im Figureninnenraum. Dokumentation von Aufhängung und Innenraum einer Zinkguss-Fassadenfigur am Münchner Völkerkundemuseum. Die Aufnahme liefert eine Fülle von Informationen über die Wandbefestigung und statische Sicherung der Figur. Selbstauslöser, Autofokus, Automatikblitz

men kommen deshalb helle Taschenlampen, wie z. B. Xenon-Hochdruck-Taschenlampen, stärkere Kaltlicht-Glasfasersysteme, Halogen-Hochvoltlampen (Vorsicht: Hitzeentwicklung und Brandgefahr!) und neuerdings auch starke LED-Lichtquellen zum Einsatz. Sehr vorteilhaft ist es, wenn die Beleuchtung bereits im Endoskop integriert ist oder quasi huckepack mitgeführt werden kann. Gelegentlich besteht die Möglichkeit, die Ausleuchtung über eine zweite Öffnung am Objekt zu verbessern. Hierbei müssen allerdings Endoskop und Lichtquelle zueinander synchronisiert werden, was wiederum einen erhöhten Zeitaufwand bedingt.

Zunehmende Ansprüche bei der professionellen bildlichen Dokumentation

In den Anfangszeiten der materialkundlichen Endoskopie war man unter Umständen schon sehr zufrieden, wenn der eigentliche Zweck erfüllt, z. B. die vermisste Schraube oder ein markanter Wandungsriss lokalisiert waren. Die fotografische Dokumentation stand im Hintergrund, sei es, weil die Aufgabenstellung als grundsätzlich nicht dokumentationswürdig empfunden wurde, die eingeplante Arbeitskraft komplizierte fotografische Sonderleistungen nicht zuließ oder der deutlich erhöhte finanzielle Aufwand zur Anschaffung einer Fotoendoskopie-Ausrüstung einfach nicht zu rechtfertigen war. Das Arbeitsblatt „Endoskopie“ des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege aus dem Jahr 2002 beziffert den Anschaffungspreis für eine vergleichsweise bescheidene endoskopische Fotoausrüstung (mit einem Stabendoskop) noch auf 4000 € und nennt Belichtungszeiten von bis zu 3 Minuten! Man könnte nun annehmen, dass eine Belichtungszeit von mehreren Minuten bei unbeweglichen Objekten kein Problem sein sollte, weil Verwacklungsunschärfe nicht zu befürchten sei. In der Praxis wird jedoch schnell klar, dass sich der Endoskopkopf mit zunehmender Distanz von der Einblicköffnung immer

stärker bewegt, zumindest wenn im Inneren des Objekts kein geeigneter Aufstützpunkt nutzbar ist. Unter diesen Bedingungen können schon Belichtungszeiten von 1/25 sec zu Problemen führen. Ein sinnvoller Kompromiss liegt in einer kontinuierlichen Videoaufzeichnung (bei einer Lichtmenge, die entsprechend viele Einzelbilder mit jeweils mindestens 1/25 sec Belichtungszeit ermöglicht), aus der nach Abschluss der Untersuchung scharfe Einzelbilder selektiert werden können. Technische Fortschritte bei den elektronischen Bildwandlern erlauben jedoch heute zunehmend kürzere Belichtungszeiten, die früher mit analogen Kameras nie zu erreichen gewesen wären. Nicht zuletzt haben sich die Betrachtungsgewohnheiten geändert: Mobile Displays und Monitore ermöglichen heutzutage die gemeinsame Diskussion eines endoskopischen Befundes bereits vor Ort in typischer Computer-Bildschirmauflösung, während man früher abwechselnd durch das Endoskop blicken musste, womöglich auch die Entwicklung eines Films abwarten musste.

Manchmal einfacher und einfach besser: die kleine Digitalkamera

In der Begeisterung über die in der Regel technisch aufwendige und deshalb vermeintlich hochwissenschaftliche Endoskopie wird gerne vergessen, dass vor allem bei größeren Objektöffnungen und kleinen Arbeitsabständen manchmal



Abb. 6. Preisgünstiges Computer-Endoskop (USB-Endoskop) eines Internet-Discounters. Zur Veranschaulichung der Leistungsfähigkeit solcher Geräte wurde der flexible Bildleiter in den seitlichen Schlitz eines Aktenordners eingeführt. Der Text auf dem Schriftstück im Aktenordner ist per Computer problemlos lesbar. Die regelbare Beleuchtung besorgen in diesem Fall winzige Leuchtdioden (statt der vormals üblichen Faseroptik). Die Ergebnisse der – hier natürlich sinnfreien – Aktion können via Standbild oder Video im Computer gespeichert werden. Achtung: meist keine Fokussiermöglichkeit, deshalb gut im extremen Nachbereich, jedoch mangelnde Schärfe bei größeren Entfernungen. Kopfdurchmesser 7 mm, Arbeitslänge 80 cm (Fotos: BLfD, Martin Mach)



Abb. 7, 8, 9. Endoskopie-Untersuchung des Schutzengels von Ignaz Günther aus dem Münchner Bürgersaal am 14. Dezember 1995 in den Restaurierungswerkstätten des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege. Originalvideoaufnahme des im Figurennischen auf Kniehöhe angenagelten, mehrfach gefalteten Zettels, Abziehen des Befestigungsnagels und Loslösen des noch an der Wand klebenden Zettels mit Hilfe eines eigens von Restaurator Karbacher angefertigten Spezialwerkzeugs in Löffelform

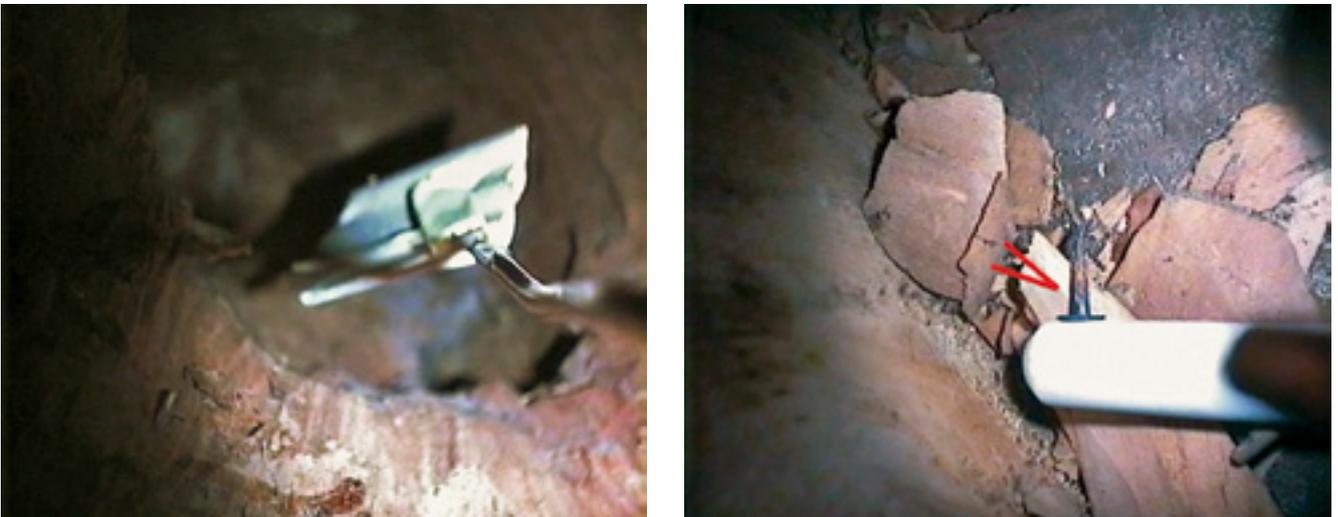


Abb. 10, 11. Bergung des in die Höhlung gefallenen Zettels mit Hilfe eines Klebestreifens und Bergung des Befestigungsnagels (roter Pfeil) mittels eines teflonbeschichteten Labor-Magnetrührstabes (Videoaufnahme, Standbilder: BLfD, Zentrallabor)

auch ohne Endoskop mit geringstem Aufwand Bilderergebnisse erzielt werden können, die denen eines Endoskops sogar noch überlegen sind. Das Bildbeispiel in Abb. 5 zeigt eine endoskopische Aufnahme, die mit einer flachen Digitalkamera ohne weitere Hilfsmittel angefertigt wurde. Profis konstatieren mit zunehmendem Entsetzen, dass gelegentlich sogar ein modernes Handy vormals komplizierte endoskopische Funktionen übernehmen kann!

Das „Low Budget“-Endoskopiesystem

Die preiswerte Massenproduktion elektronischer Bildwandler führte zu einer Marktsättigung im klassischen fotografischen Bereich und deshalb zur Suche nach neuen Anwendungsgebieten. Zyniker könnten anmerken, dass auch der zunehmende Einsatz winziger Überwachungskameras, z. B. bei der knallharten Optimierung industrieller Produktionsprozesse, die endoskopische Technik beflügelt haben könnte. Tatsache ist jedenfalls, dass heutzutage praktisch jeder Elektronik-Discounter oder Baumarkt preiswerte

Endoskope (Abb. 6) anbietet, die in vielen Situationen einem althergebrachten Stab-Endoskop Paroli bieten können.

Anwendungsbeispiel: Die Endoskopie am „Schutzengel“ von Ignaz Günther

Die Endoskopie-Untersuchung des Schutzengels von Ignaz Günther aus dem Münchner Bürgersaal liegt zwar bereits fast zwei Jahrzehnte zurück (vgl. Denkmalpflege Informationen, Ausgabe B Nr. 103, Dez. 1995). Sie bleibt jedoch in mehrfacher Hinsicht bemerkens- und beachtenswert, nicht nur wegen ihres Ergebnisses, sondern vor allem auch wegen ihrer Methodik, die schließlich zu einem verdienten Erfolg führte.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt hatte dem Zentrallabor im Rahmen des sogenannten „Zinkguss“-Projektes (1992–97) eine, gemessen an heutigen Verhältnissen, geradezu traumhafte finanzielle und methodische Freiheit ermöglicht. Dank dieser großzügigen Unterstützung konnte das Zentrallabor eine ungewöhnlich miniaturisierte Video-

kamera (vgl. Abb. 4) erwerben. Diese war vom Hersteller eigentlich für virtuelle Kamerafahrten durch Architekturmodelle entwickelt worden, konnte nun jedoch in eigener Regie und je nach Aufgabenstellung zu einer spezifisch angepassten Endoskopiekamera umgerüstet werden.

In Abwandlung eines bekannten Sprichworts sei daran erinnert, dass es erfahrungsgemäß das wache Auge des benachbarten Spezialisten am Denkmal ist, welches dem Zentrallabor die wirklich interessanten Aufgaben vermittelt. So war es den Restauratorenkollegen Rupert Karbacher und Erwin Mayer nicht verborgen geblieben, dass es im Zentrallabor beim Kollegen Christian Gruber diese ultramoderne Endoskopiekamera gab. Restaurator Mayer bestand konsequenterweise auf einer endoskopischen Untersuchung des Schutzengels, der zu dieser Zeit im Landesamt restauriert wurde. Das neue Videoendoskop lieferte auf seiner Kamerafahrt von der Flügelansatzöffnung des Engels (Eintrittsöffnung des Endoskops) bis hinunter zum Knie des Engels von Beginn an wunderbar plastische Innenraumbilder, die auf einem Monitor von allen zufällig anwesenden Personen live mitverfolgt werden konnten. Aufregung entstand in dem Moment, als Skulpturenrestaurator Edmund Melzl in gewohnt ruhiger Bass-Tonlage anmerkte: „Da ist

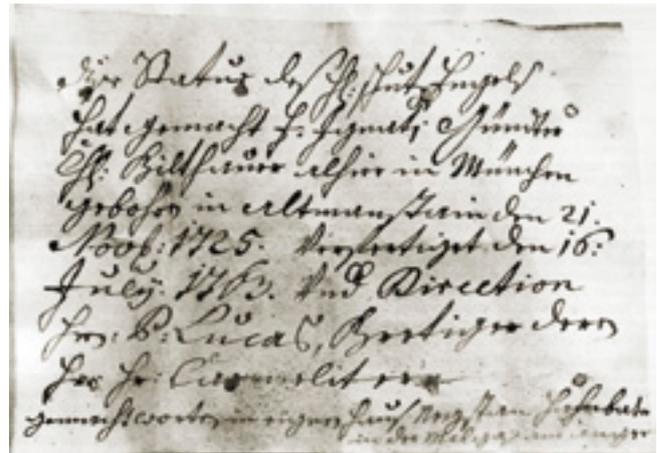


Abb. 13. Das Ignaz-Günther-Autograf. Der Text lautet: „dise Statue des hl: schutzEngels // hat gemacht F. Ignati Gündter // Chl: Biltthauer alhier in München // gebohren in Altmanstain den 21. // Novb(ris): 1725. Verfertiget den 16: // Julij 1763. Vnd(er) Direction // hw: P: Lucas, Bretiger deren // hr: Carmelitern // gemacht Worten in eignen haus Negst an // Hahnbate in der Melgas am anger“ (Foto: BLfD)



Abb. 12. Für eine Fernsehproduktion nachgestellte Szene der Endoskopie-Untersuchung am Schutzengel. Von oben: Rupert Karbacher, Christian Gruber, der Initiator Erwin Mayer (1952–2003) und Martin Mach (Foto: BLfD)

ein Zettel angenagelt“ (Abb. 7). Mit einem eigens angefertigten Seilzug und Haken wurde der Befestigungsnagel unter ständiger Videokontrolle abgezogen (Abb. 8), der noch an der Figurenwandung klebende Zettel mit einem löffelartigen Werkzeug (Abb. 9) gelöst und dann mit Hilfe eines Klebestreifens nach oben gezogen (Abb. 10). Die abschließende Hebung des Befestigungsnagels besorgte ein am Frontende des Endoskops befestigter Labor-Magnetührstab (Abb. 11). Da der Videorecorder mitlief, wurden alle wesentlichen Arbeitsschritte lückenlos auf Magnetband festgehalten. Die ohne weiteren Kommentar, aus sich heraus spannenden Szenen wurden in den kommenden Jahren wiederholt im Fernsehen gezeigt, dienten unter anderem zur Auflockerung und Verschönerung medizin-wissenschaftlicher Fernsehfilme, wie z. B. einer Produktion über endoskopisch kontrollierte Fettabsaugung im menschlichen Bauchraum und andere zivilisatorische Errungenschaften. Festzuhalten bleibt, dass günstige Randbedingungen, eine gute Ausrüstung und das fachliche Zusammenwirken aller Beteiligten bei gutem Arbeitsklima (Abb. 12) zu einem Erfolg führten, der andernfalls nicht denkbar gewesen wäre. Noch heute kann man anhand des Ignaz-Günther-Autografs plausibel darlegen, dass sein angebliches Geburtsdatum in der aktuellen Wikipedia wohl falsch sein muss – dort wird der 22. November 1725 genannt, während Ignaz Günther auf seiner handschriftlichen Nachricht an die Nachwelt den 21. November angibt (Abb. 13).

Datenspeicherungsskeptikern sei versichert, dass sich die Original-Magnetbandaufnahme von 1995 bei der Überprüfung im April 2014 problemlos und offensichtlich fehlerfrei digitalisieren ließ.

Was es bei der Endoskopie zu beachten gilt

Ein Endoskopie-Ortstermin kann erfahrungsgemäß vorschnell und frustrierend enden, wenn der Geräteoperator vom Auftraggeber unvollständige oder falsche Informationen erhalten hat.

Die folgende Liste der vorab zu klärenden Randbedingungen mag auf den ersten Blick übertrieben penibel erscheinen, hat sich jedoch in der Praxis bewährt. Vorab zu klären ist vor allem:

- Wie groß ist der nutzbare Durchmesser der Einblicköffnung (wirklich verlässliche Messung, z. B. mit Hilfe eines zylindrischen Holzstabs!)
- Welche Dimensionen hat der zu untersuchende Hohlraum (quasi: „Maus oder Elefant“)?
- Ist die Strecke bis zur Beobachungsposition für den Endoskopkopf geradlinig gangbar?
- In welcher Entfernung von der Einblicköffnung befinden sich die erhofften Details?
- Müssen auch feine Strukturen erkannt werden?
- Bestehen Risiken für das Objekt (Brandgefahr, delicate innere Strukturen)?
- Bestehen Risiken für das Endoskop (Stauwasser, scharfe Kanten)?

Martin Mach