

*Dedicated to Prof. Antonius Kettrup on the occasion of his 60th birthday*

## **THERMOANALYTISCHE UNTERSUCHUNG VON BAUMATERIALIEN ÄGYPTISCHER MUMIENSÄRGE**

*H. G. Wiedemann*

Mettler-Toledo GmbH, Postfach, CH-8603 Schwerzenbach, Schweiz

### **Abstract**

Egyptian mural paintings, polychromatic sculptures and mummy coffins exhibit a remarkable durability, ranging over millennia. This phenomenon can be explained by the dry, non-corrosive climate of the Nile valley and/or by the knowledge and experience with which Egyptian craftsmen developed skills to conserve items and materials "for eternity". Investigations concerning the timber and covering or protecting layers of mummy coffins are reported. The experimental results were obtained by means of thermal analysis and X-ray diffraction. The interpretation sheds light on the ancient techniques applied.

**Keywords:** adhesive strength of CaCO<sub>3</sub>-layers, CaCO<sub>3</sub>-layers, mummy coffins, Nile mud, wood identification

### **Einleitung**

Im alten Ägypten ist die Sargherstellung gemessen an ihrer Bedeutung für die Grabausstattung relativ selten dargestellt. Obwohl nur selten Holz als Material für Särge angegeben ist, besteht die überwiegende Zahl aus Holz und nicht aus Stein. Fast jedes ägyptische Museum besitzt heute einen oder mehrere Holzsäрге des Mittleren Reiches (2040–1640 BC), die auch bereits im Alten Reich (2575–2134 BC) in ähnlicher Form hergestellt wurden. Es sind längliche, einfache Sargkisten, innen und außen mit Spruchbändern geschmückt. Die der Körperform angepaßten Holzsäрге gab es erst im Neuen Reich (1550–1070 BC), wobei diese Form auch vom finanziellen Aufwand abhing [1].

Die Messungen der thermogravimetrische Zersetzungskurven (TG/DTG) geben Auskunft über die verwendete Holzart, die in vielen Fällen als Zeder identifiziert wurde.

Zunächst wurden die Särge mit Wasser und Sand poliert. Darstellungen aus dem Neuen Reich zeigen verschiedene Phasen der Herstellung eines Sarges, wo zum Beispiel das Bestreichen mit verschiedenen Materialien, das Umwickeln von Binden, das Bemalen und das Beschriften der äußeren Hülle zu sehen ist.

Anhand von Mikrotomschnitten wird der Aufbau der Schicht auf dem Holz, der sich aus Komponenten wie Nilschlamm,  $\text{CaCO}_3$  und Farbpigmenten zusammensetzt, sichtbar gemacht. Mit X-ray und thermogravimetrischen Messungen (TG) konnten die Bestandteile identifiziert werden. Besonders konnte auch Betrachtungen über die Haftfestigkeit der Deckschicht, die über einen Zeitraum von 4000 Jahre andauern, angestellt werden. Weiterhin wird über diese Zeitspanne der Wechsel der Technologien in Betracht gezogen.

Vermutlich wurde die weiße Deckschicht, welche aus rekarbonisierter Kalkmilch aufgebaut ist, von der Mörtelherstellung her übernommen. Viele der ägyptische Mörtel enthalten mehr oder weniger die Komposition rekarbonisiertes Kalziumkarbonat und rehydratisiertes Kalziumsulfat. Die Begründung dafür ist, daß die meisten Abbaustätten von Kalk auch Gips (Selenit) enthalten. In den weißen Deckschichten der Särge waren jedoch nur teilweise Spuren von Gips zu finden.

Es werden Messergebnisse von zehn Särgen aus verschiedenen Zeitaltern verglichen, d.h. von 2575 BC-395 AD.

Von einem Sargfragment wurde eine C14 Messung des Holzes und des Kohlenstoffes des rekarbonisierten Calciumoxids vorgenommen. Das Alter des Holzes zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem angenommenen Alter des Sarges, während das des Kalziumcarbonates durch den unvollständig gebrannte Anteil  $\text{CaCO}_3$  zu hoch ist. Es wird eine thermogravimetrische Methode diskutiert, die eine Möglichkeit bietet den rekarbonisierten Anteil zu bestimmen und damit das "richtige Alter" zu bestimmen.

### Der Sarg im Alte Ägypten [3]

Ähnlich wie heute bei uns war für den Ägypter der Sarg unverzichtbarer Bestandteil der Grabsausstattung. Seine Funktion war es, den Leichnam vor dem Verfall zu schützen, denn die Erhaltung des Körpers war eine der Voraussetzungen, damit der Verstorbene im Jenseits weiterleben konnte.

Die ersten Särge stammen aus dem Beginn der geschichtlichen Zeit um 3000 v. Chr. und waren einfache rechteckige Brettkonstruktionen, in denen der Körper in gekrümmter Stellung beigesetzt wurde. Aus diesen entwickelten sich im Alten Reich die Särge mit Nischengliederung auf der Seite mit "Palastfassade" und gewölbtem Deckel, welche die Form eines Hauses nachahmt und deutlich macht, dass der Sarg als Wohnstätte des Verstorbenen diente.

Aus dem Alten Reich sind die ersten Sarkophage aus Stein erhalten. Sie waren den Königen, ihren Familien und hohen Beamten vorbehalten. Die meisten Särge waren aus Holz gefertigt, das im Niltal zu allen Zeiten rar und daher kostbar war. Aus der Ramessidenzeit ist uns eine Kaufurkunde erhalten, wonach für einen Holzsarg: ein Schwein, zwei Ziegen, zwei Stücke Sykomorenholz und über 1200 Gramm Kupfer in Zahlung gegeben wurde. Dies stellte in der damali-

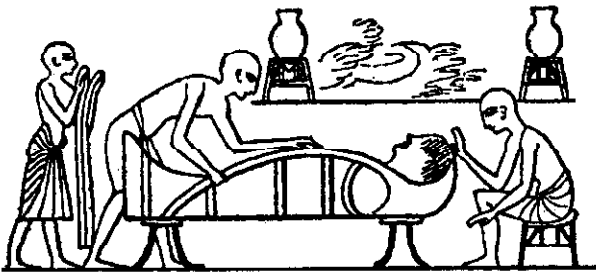


**Abb. 1** Mumiensarg der 21. Dyn (äußerer Sarg mit Deckel) aus der ägyptischen Sammlung des Bernischen Historischen Museums. Schenkung der ägyptischen Regierung an die Eidgenossenschaft im Jahr 1893 [3]

gen Naturalwirtschaft einen beträchtlichen Wert dar, den sich nicht jedermann leisten konnte.

Gegen Ende des Mittleren Reiches erschienen neben den üblichen Kastensärgen anthropoide (menschengestaltige) Särge, die die Gestalt der eingewickelten Mumie nachahmen und wahrscheinlich als Ersatzkörper dienen sollten, falls die Mumie zerstört würde.

Zu Beginn des Neuen Reiches wurde die ältere Form des Kastensarges allmählich zugunsten der neuen, anthropoiden Särge (Abb. 2) aufgegeben und es bildete sich ein Repertoire an klassischen Dekorationselementen, welches bis ans Ende des Neuen Reiches Gültigkeit hat. Das Gesicht wird von einer dreigeteilten Perücke umrahmt; auf die Brust ist ein breiter Halskragen gemalt, dessen Enden auf den Schultern in einem Falkenkopf auslaufen. Unterhalb des Kragens ist eine geflügelte Schutzgötterin wiedergegeben, entweder in Gestalt eines



**Abb. 2** Tischler und Sargfabrikanten bei der Arbeit, neues Reich [9]

Geiers (oberägyptische Landesgöttin Nechet) oder einer Frau (Himmelsgöttin Nut). Unterhalb der Göttin verläuft ein senkrechtes Inschriftenband, mit dem sich drei oder vier waagrechte Bänder rechtwinklig kreuzen und damit Mumien binden imitieren. Der Platz am Kopf- und Fussende ist Isis und Nephthys vorbehalten, die bei der Mumie Wache halten.

Je nach Grundfarbe der Dekoration (weiss, schwarz oder gelb) können im Neuen Reich drei verschiedene Typen von Särgen unterschieden werden, wobei der jüngste gelbe Typ schon gewisse Elemente aufweist, die für die Särge der 21. Dynastie charakteristisch sind<sup>1</sup>. In der späten 19. und der 20. Dynastie zeigt sich die Tendenz, den Deckel sowie die Außenseiten des Sargkastens<sup>2</sup> mit immer reicherer Dekoration zu versehen, die auf den Särgen der 21. Dynastie ihren Höhepunkt erreicht (Abb.1) (Ende Zitat [3]).

## Methoden

### *Pulverröntgendiffraktion*

Pulverdiffraktometer D 500 mit Graphit-Monochromator und  $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung der Firma Siemens, Karlsruhe/D. Die Steuerung und Auswertung erfolgten durch einen PC Sicomp 32-05 der Firma Siemens mit dem Programm DIFFRAC/AT der Firma Socabim Paris / F.

### Präparation der Probe

Die Proben (ca 1 mg) wurden gemörsert und in Athanol aufgeschlämmt auf Glasplatten (50×50×0.1 mm) aufgebracht und gemessen. Nach der Pulverröntgendiffraktion wurden die Proben mittels Rasierklinge für die thermogravimetrischen Messungen von den Glassplatten entfernt und in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Tiegel eingewogen.

### *Thermoanalyse*

Die Gewichtsänderungen von thermochemischen Reaktionen in kontrollierter Atmosphäre (trockener Luft, Stickstoff und 5%  $\text{H}_2$  in  $\text{N}_2$ ) wurden auf dem Mettler-Toledo Thermosystem 8000/TG850, welches teilweise für simultane massenspektrometrische Messungen mit dem Balzers MS-Cube<sup>TM</sup> (MSC 200) gekoppelt war, ausgeführt. Für die Messungen der Kalzit und Holzdekompositionen stand ein Ofen für den Temperaturbereich 25–1000°C zur Verfügung.

Die DSC Messungen von thermochemischen Reaktionen in trockener Luft wurden auf dem Mettler-Toledo Thermosystem 8000/DSC825 ausgeführt.

1 Zu Beginn der 19. Dyn. wird der gelbe Sargtyp eingeführt. Auf der Brust gekreuzte, plastisch ausgearbeitete Hände, das Mumienbrett aus Holz oder Kartonage.

2 Innen blieb der Kasten undekoriert.

## C14-Altersbestimmung

C14-Altersbestimmung von Mumiensargholz wurde mit der Radiokarbonmethode AMS (Accelerator Mass Spectroscopy) im Institut für Teilchenphysik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH) durchgeführt. Die Ergebnisse der kalibrierten (dendrokorrigierten) Alter sind  $2\sigma$ -Bereiche (95% confidence limit) und wurden mit dem Programm Calib ETH berechnet (Radio-carbon, Vol. 34, No. 3, 1992, p. 483–492).

## Untersuchungen an Deckschichten der Mumiensärge

Ein Fragment eines ägyptischen Mumiensarges (Luxor) gab den Anstoß zur Untersuchung von ägyptischen Pigmentfarben. Dabei wurde auch die weiße Schicht, in dem die Farbkörper eingebettet sind und die darunter liegenden Verbindungsschichten zum Holz untersucht. X-ray Messungen der braune Schichten zeigten, dass der Nilschlamm aus pflanzlichen Bestandteilen, aus verschiedenen Tonen und Kalk zusammengesetzt ist<sup>1</sup>. In einem Mikrotomschnitt (Abb. 5) ist zu sehen, daß die braune Schicht (Nilschlamm) unmittelbar nach dem Holz folgt. Der Zusammenhalt der Schicht des Holzes mit Nilschlamm ist darauf zurückzuführen, das Holz mit den verschiedenen Tonarten reagiert und eine Verbindung eingeht. Der Nilschlamm wurde vor der Bemalung als plastische Masse auf dem Holz aufgebracht, d.h. er wurde zur Glättung der Oberfläche benutzt. Auch die Bärte, Perücken etc. auf dem Sarg wurden wegen der ständige Holzknappheit in Ägypten auch aus Nilschlamm modelliert.

Die weiße Schicht wird in der Literatur und speziell bei Beschreibungen von Mumiensärgen stets als Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) definiert [10]. Bei hölzernen Gegenständen tritt auch häufig die Bezeichnung "stuckiert" auf, weist auf die Verwendung auf Gips hin. Untersuchungen der "weißen Schichten" mit der Pulverröntgendiffraktion (Abb. 3) ergaben bei allen Särgen eindeutig  $\text{CaCO}_3$ . Vermutlich wurde der Sarg nach Fertigstellung der Nilschlammschicht mit einer wäßrige Lösung von CaO Kalkmilch mehrfach bestrichen. Die durch Rekarbonatisierung ( $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ ) erzeugten weißen Schichten konnten dann bemalt oder beschriftet und durch weitere Rekarbonatisierungen oder Lackierung fixiert werden. Bei den untersuchten Särgen (Tab. 1) konnten neben  $\text{CaCO}_3$  auch geringe Mengen anderer chemischer Verbindungen, wie Quarz und Gips festgestellt werden. Zusätzlich unternommene thermogravimetrische Messungen (TG/DTG) (Abb. 4) teilweise simultan mit Massenspektroskopie (MS), zeigten eindeutig den Zersetzungsverlauf von  $\text{CaCO}_3$ , d.h. durch simultane massenspektrometrische Analyse wurde eine Abgabe von  $\text{CO}_2$  registriert. Weiterhin

<sup>1</sup> Nilschlamm ist keine definierte chemische Verbindung, die Zusammensetzung variiert von Ort zu Ort [9].

Tabelle 1 Untersichte Hölzer und Deckschichten der Mumien sarcophage

Museum, Standort und Alter	Holz		1. Schicht	2. Schicht	3. Schicht	Farben
	äußerer & innerer Sarg	Holz				
Sarg 1, Berlin (2000-1650, BC, MR)	Zeder	-	Nilschlamm	CaCO <sub>3</sub>	-	Pigmente
Sarg 2, Berlin (2000-1650, BC, MR)	Zeder	-	Nilschlamm	CaCO <sub>3</sub>	-	Pigmente
Sarg 3, Berlin (660-330, BC, SpZ)	Sykomore	-	-	CaCO <sub>3</sub>	-	-
Sarg 4, Berlin (660-330, BC, SpZ)	Sykomore	-	Nilschlamm	CaCO <sub>3</sub>	-	-
Sarg 5, Berlin (332-395, AC, gr-rZ)	Sykomore	-	-	CaCO <sub>3</sub>	-	-
Sarg 6, Chur (1080-600, BC, NR)	-	Zeder	-	CaCO <sub>3</sub>	Linnen	Schmuckstein
Sarg 7, Zürich (1550-600, BC, NR)	Zeder	-	Nilschlamm	CaCO <sub>3</sub>	Linnen	Pigmente
Sarg 8, St. Gallen (1050-1070, BC, 3.ZwZ)	Sykomore	Tamariske	Nilschlamm	CaCO <sub>3</sub>	-	Pigmente
Sarg 9, Bern (1070-660, BC, NR)	Sykomore	Sykomore	Nilschlamm, Quarz, Häcksel	CaCO <sub>3</sub>	Linnen	Pigmente
Sargfragment 10, Luxor (1070-660, BC, NR)	Zeder	-	-	CaCO <sub>3</sub>	-	Glaspasten

Abkürzungen: MR/Mittleres Reich, NR/Neues Reich, 3.ZwZ/3.Zwischenzeit, SpZ/Spätzeit, gr-rZ/Griechisch-römische Zeit

## Diffraktogramme der weissen Deckschicht der Mumien­säрге

No.	Sarg Standort	Zeit	Calcit %	Gips %	Quarz %
1	Berlin 1	MR	100	–	–
2	Berlin 2	MR	90	5	5*
3	Berlin 3	SpZ	95	–	<5
4	Berlin 4	SpZ	50	–	50
5	Berlin 5	gr-r Z	99	–	<1
6	Chur	NR	99	–	<1
7	Zürich	NR	95	–	<5*
8	St. Gallen	NR	99	–	<1
9a	Bern	3.ZwZ	95	<1	<5
9b	Bern	3.ZwZ	99	–	<1*
10	Luxor	NR	100	–	–

Quantitative Bestimmungen aus den TG-Kurven (Abb. 4\*)

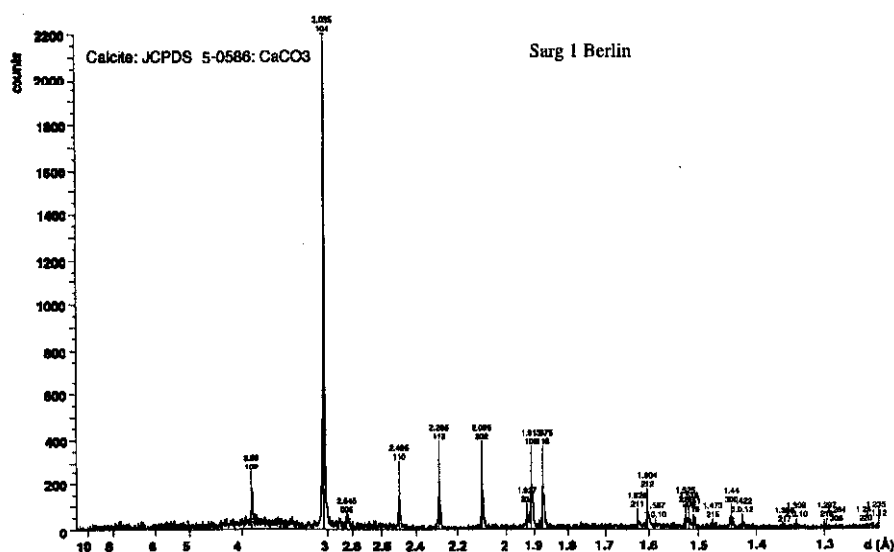


Abb. 3 Resultate der Röntgendiffraktogramme

wurde im Temperaturbereich von 300–400°C eine Wasserabgabe beobachtet, die auf Kalziumhydroxid hinweist.

Bei einer Untersuchung von ägyptischen Mörteln entdeckten wir, das zum Beispiel der Mörtel der Sphinx zur Hälfte aus  $\text{CaCO}_3$  und zur anderen Hälfte aus Gips besteht. Der Grund dafür ist, daß in den meisten Steinbrüchen der Kalk gemischt mit Gips vorkommt, d.h. das dieses Gemisch gebrannt und als Mörtel verarbeitet wurde [6].

Eine Ausnahme bilden die Säрге des Alten und Neuen Reiches, wo zum Teil die Beschriftungen direkt auf dem Sarg angebracht wurden, d.h. ohne Deckschichten.

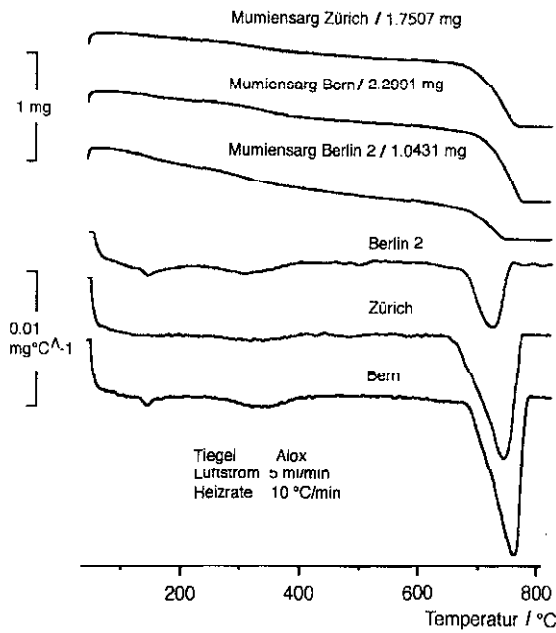


Abb. 4 Thermogravimetrische Zerlegungskurven (TG/DTG) von  $\text{CaCO}_3$ -Schichten verschiedener Mumien-särge (Zürich, Bern und Berlin 2)

Weisse Schicht  $\text{CaCO}_3$  →  
durch Rekarbonatisierung von CaO

Dunkle Kristalle, Ägyptisch Blau,  
( $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ ) Schichtsilikat Weisse  
Kristalle, Kreide

Dunkle Schicht, Nilschlamm, or-  
ganische Bestandteile, pflanzlicher  
Art, Ton und Kalk

→  
Holzschrift, die sich im schwarz-  
weiss Bild vom Nilschlamm nicht  
unterscheidet



Abb. 5 Mikrotomschnitt einer Deckschicht eines Mumien-sargdeckels: braune Schicht, Nilschlamm, weisse Schicht, rekarbonatisiertes CaO zu  $\text{CaCO}_3$ , blaue Farbpigmente, Ägyptisch Blau,  $\text{CaCu}[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$

In Tabelle 1 wird neben den Hölzern, dem Nilschlamm, der weissen Deck-schicht auch noch auf eine 3. Schicht hingewiesen, die durch das Stichwort "Lin-nen" gekennzeichnet ist. Diese Särge sind innen mit Linnen ausgelegt. Das Lin-nen ist mit der weissen Deckschicht an dem Sargholz befestigt. Altersbestimmun-



gen des Linnen mit der C14 Radiokarbonmethode und durch X-ray Untersuchungen ergaben ein Alter in der Größenordnung des Sargholzes.

Bei den Farben sind zwei Bezeichnungen üblich, Pigmente und Glaspasten. Die Pigmente sind entweder natürlich vorkommende Minerale in gepulverter Form, oder gefärbte Gläser (Glaspasten) die wie oben beschrieben durch die Rekarbonation in der weißen Schicht fixiert wurden oder durch Lacke oder Gummiarabicum auf der Oberfläche befestigt wurden.

### *Untersuchungen an Hölzern der Mumien­särge*

Adolf Erman erwähnt bereits 1923 in seinem Buch über das ägyptische Leben im Altertum [9], daß das Land (wie auch in der Gegenwart) Mangel an gutem Holz gelitten hat. Mögen auch die Baumbestände im Altertum noch größer gewesen sein, bestanden sie aus den gleichen, wenig brauchbaren Bäumen. Die Sykomore erlaubt zwar Holzblöcke um starke Bretter zu schneiden, aber ihr Holz ist so knorrig und grob, daß es zu feineren Arbeiten nicht brauchbar ist. Die Dattel- und Dumpalmen gewähren nur lange, meist krumme Balken, die Tamariskensträucher am Wüstenrande geben kurze Stücke harten Holzes, und die Akazien, die ein brauchbares Material für Schiffe liefern, scheinen im eigentlichen Ägypten schon früh selten geworden zu sein.

Es kann daher nicht wundernehmen, daß man in sehr alter Zeit begonnen hat, sich in der Fremde nach besserem Holz umzusehen. So besitzt, um nur ein Beispiel anzuführen, das Berliner Museum drei große Holz­särge aus der Zeit zwischen dem alten und mittleren Reich, deren Bretter aus Nadelholz bestehen und von auswärts nach Ägypten gebracht worden sind. Teuer freilich muß das fremde Holz immer geblieben sein; denn selbst bei Särgen hat man sich begnügt, das einheimische Holz durch Aufmalen einer hellgelben Farbe und einer roten Maserung das Ansehen des kostbareren ausländischen Holzes zu geben. Überhaupt galt das eigene Holz nicht als schön, und man verdeckte es fast immer mit einer bunt bemalten "Stuckschicht" Gips (Ende Zitat [9]).

Tabelle 1 beinhaltet verschiedene Hölzer die im Alten Ägypten als Baumaterial für Mumien­särge verwendet wurden. Ein Teil der Hölzer, speziell Zeder, wurde zu dieser Zeit aus dem Libanon, importiert. Wohlhabende konnten sich diesen Luxus leisten, die anderen mußten sich mit Sykomoren (*Ficus religiosa*) oder Tamarisken (*Tamarix nilotica*), die im Lande wuchsen oder gezüchtet wurden [8, 9], begnügen.

Hier wird der Versuch gemacht Hölzer durch Vergleich der Verbrennungsprofile (TG/DTG) die Holzarten zuerkennen. Dabei spielt natürlich das Alter der zu vergleichenden Bäume eine Rolle [5]. In Abb. 6 sind Kurvenbilder von zwei Verbrennungsprofilen von Zeder gegenübergestellt., die eine Probe stammt von einem Sargfragment aus Luxor, Ägypten, die andere von einer siebenjährigen Atlaszeder aus der Schweiz. Aus den TG/DTG Kurven wurden zunächst die

prozentualen Anteile der Holzkomponenten bestimmt, die in der nachfolgenden Tabelle 2 dargestellt sind.

Labor Nr.	Proben Nr.	AMS- <sup>14</sup> C Alter [y BP]	δ13[‰]	kalib. Alter [BC/AD]
ETH-17583	Holz	2'455±50	-23.0±1.2	BC 764 - 615 (42.5 %) BC 606 - 406 (57.5 %)

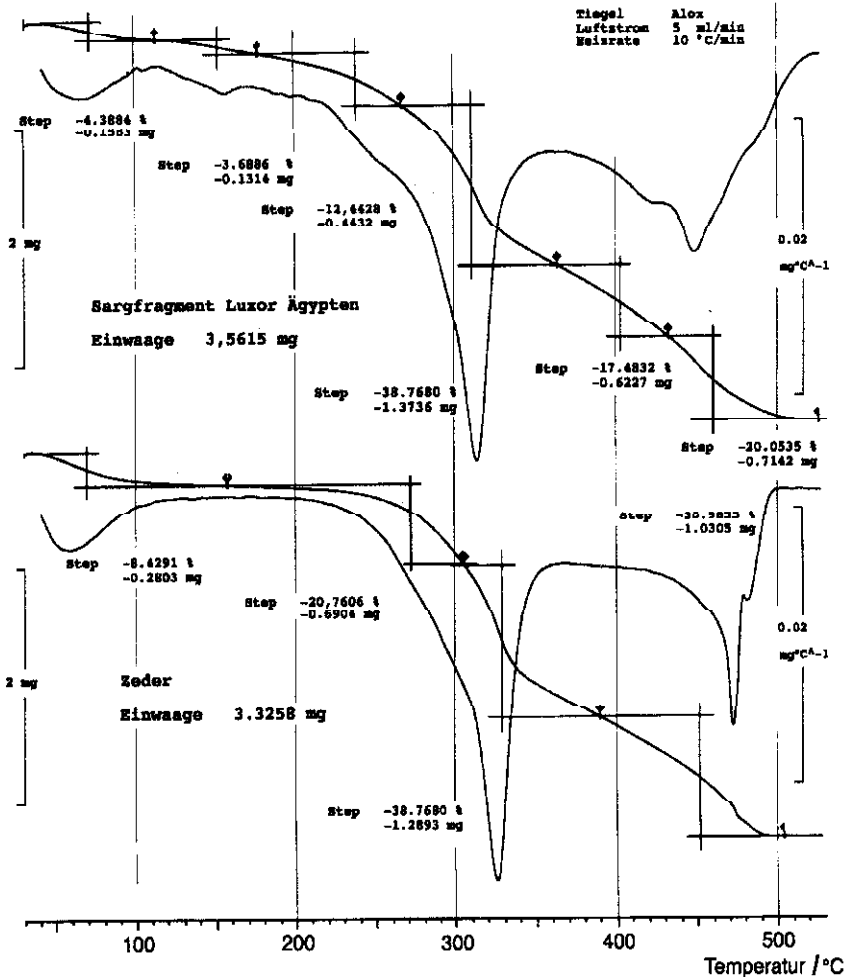


Abb. 6 Thermogravimetrische Zersetzungskurven (TG/DTG) von Holz, a) Holz vom Sargfragment Luxor, b) Zedernholz

Die erhaltenen Werte sind unterschiedlich, da das Alter der untersuchten Hölzer ca 2500 Jahre ausmacht. Eine Untersuchung über die Änderungen der

Holz Komponenten in Bezug auf die Wachstumsperiode eines Baumes wurde vor einigen Jahren publiziert [5]. Deshalb wurde eine  $^{14}\text{C}$ -Datierung vom Sargfragment Luxor, Ägypten mit der Radiokarbonmethode ausgeführt, um eine Zeder ähnlichen Alters zum Vergleich zu finden, die unter gleichen klimatischen Bedingungen gewachsen ist. Gleichalterige Hölzer sind im Verbrennungsprofil und der Komposition kongruent.

Durch den Verlauf der Kalibrierkurve im interessierenden Bereich ergeben sich mehrere wahre Altersbereiche. Die Zahlen in Klammern sind Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Bereiche [7].

Die Probenvorbereitung für TG/DTG Messungen spielen bei der Reproduzierbarkeit der Resultate eine große Rolle. Zum Vergleich der Hölzer sollten die gleichen Jahresringe eines Baumes verwendet werden und im Stück (als 0.1 mm Scheibe) im offenen Tiegel eingesetzt werden. Ergebnisse mit gleicher Heizrate und Gasstrom (Luft  $5 \text{ ml min}^{-1}$ ) sind erforderlich. Die Einwaagengröße von ca 2–3 mg ist empfehlenswert.

**Tabelle 2** TG Stufenanalyse/Zeder (Sargfragment & Baum)

Stufen	Gewichtsverlust/mg		Gewichtsverlust/ %	
Wasser	-0.1563	-0.2803	-4.38	-8.43
Wasser	-0.1314	-	-3.69	-
Hemizellulose	-0.4432	-0.6904	-12.44	-29.76
Zellulose	-1.3736	-1.2893	-38.57	-38.77
Lignine	-1.3369	-1.0305	-37.53	-30.99
Asche	-0.1201	-0.0353	-3.39	-0.99
Einwaage	Sargfragment: 3.5615 mg		Baum: 3.3258 mg	

**Tabelle 3** TG Stufenanalyse/Tamarisken-Sargdeckel [4]

Stufen	Gewichtsverlust/mg	Gewichtsverlust/ %
Wasser	-0.2099	-7.00
Tamarix nilotica (?)	-0.1176	-3.92
Hemizellulose	-0.4891	-16.33
Zellulose	-1.1596	-38.71
Lignin 1	-0.7491	-25.01
Lignin 2	-0.1474	-4.92
Asche	-0.1230	1.11
Einwaage	2.9957 mg	

Ein weiteres Beispiel der Sargholz-Untersuchungen zeigt, wieweit eine Holzart nur durch Vergleich der Verbrennungsprofile der DTG Kurven bestimmt werden kann. Abbildung 7 zeigt drei Kurven von Tamariskenholz, die grundsätzlich ähnlich sind, die Abweichungen sind durch die Altersunterschiede und die Probengröße hervorgerufen, d.h. wenn die Probengröße durch den Besitzer

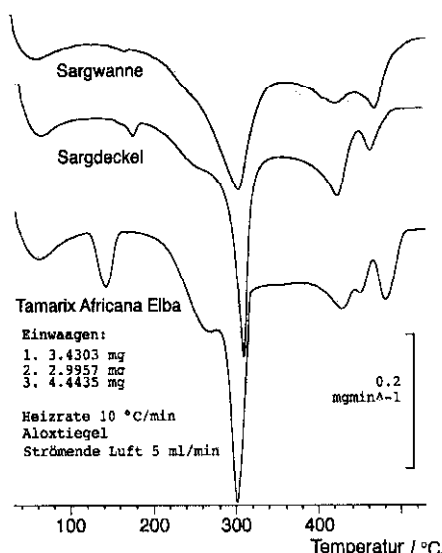


Abb. 7 Thermogravimetrische Zersetzungskurven (DTG) von Holz; a) Mumiensarg Wanne; b) Mumiensarg Deckel, innerer Sarg, St. Gallen; c) Tamarix Africana Elba

limitiert wird. Die Zusammensetzung der mindestens 2700 Jahre alten Tamarisken (Deckel, innerer Sarg, St. Galen) ist von den TG/DTG Kurven (2. Kurve, Abb. 7) errechnet worden:

Die Beschreibung der Analyse von Sykomorenholz soll diesen Teil beschliessen.

Ein weiterer Versuch Hölzer durch Vergleich der Verbrennungsprofile (TG/DTG) zu erkennen, behandelt einen Sarg (Abb. 1) aus dem Bernischen Historischen Museum, Abt. Völkerkunde, in Bern. Es handelt sich dabei um Sykomorenholz, daß mit einer Probe der gleichen Provenienz von Holz verglichen wird. Auch hier konnten wir zunächst nur eine junge Holzprobe einer 20 jährigen Sykomore von Elba, Italien heranziehen.

In Abb. 8 sind Kurvenbilder der zwei Verbrennungsprofilen von diesen Proben gegenübergestellt. Aus den TG/DTG Kurven wurden die prozentualen Anteile der Holzkomponenten bestimmt, die in der nachfolgenden Tab. 4 dargestellt sind.

Tabelle 4 TG Stufenanalyse/Sykomore (Sarg & Baum)

Stufen	Gewichtsverlust/mg		Gewichtsverlust/%	
Wasser	-0.0809	-0.2111	-4.99	-5.47
Wasser	0.1132	0.0311	6.98	-0.81
Hemizellulose	-	-0.6672	-	-17.30
Zellulose	-1.1044	-1.4782	-68.12	-38.33
Lignine	-0.2220	-1.2151	-13.69	-30.99
Asche	-0.1007	-0.2542	-6.22	-7.10
Einwaagen	1.6212 mg Sargdeckel		Baum: 3.8569 mg	

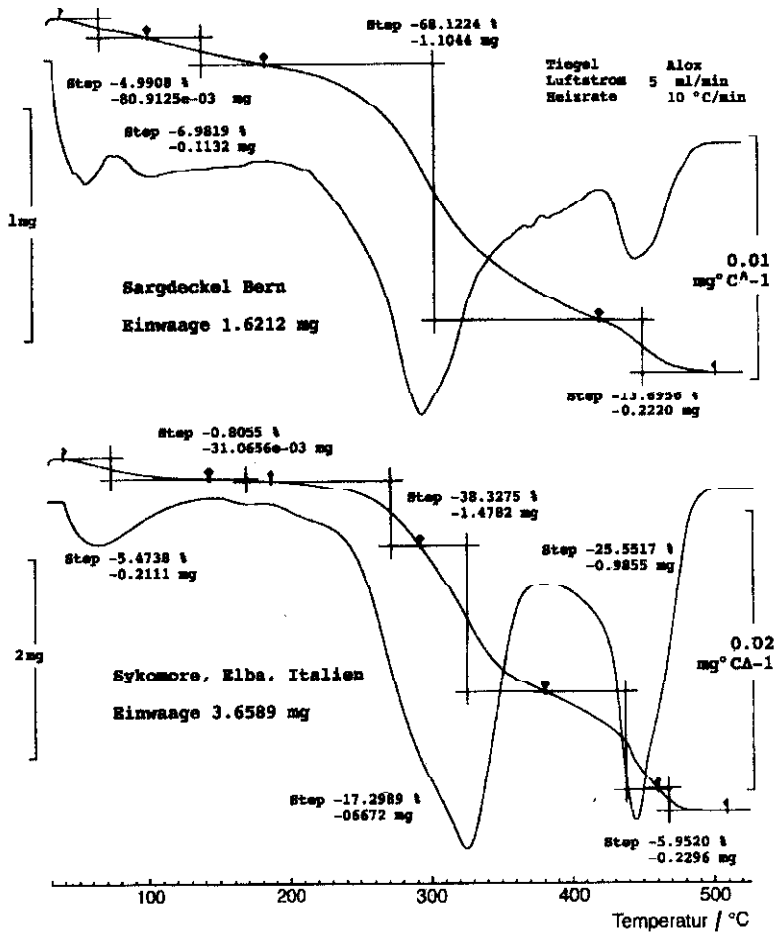


Abb. 8 Thermogravimetrische Zersetzungskurven (TG/DTG) von Holz, Mumiensarg Deckel: Bern, Sykomore

Zum Schluss dieses Abschnitt möchte ich einen Mann namens Ineni erwähnen, er war Aufseher der Speicher des Amun, von Amenophis I. bis Thutmosis III., (1525–1425 B.C.). Sein Grab befindet sich unter den Noblen in Schêch Abd el-Kurna (Nr. 81), Theben, Ägypten. Es beinhaltet unter anderen, eine Tafel mit 20 Baumarten, die er züchtete. Er war mit ca 600 Bäumen sehr erfolgreich, wovon alle hier beschriebenen Baumarten vorkommen. Es waren 5 Zedern, 10 Tamarisken und 73 Sykomoren [8].

## Zusammenfassung

Mit dem Einsatz von Röntgendiffraktion und Thermogravimetrie konnte bei den von uns untersuchten Mumiensärgen nachgewiesen werden, daß die weiße

Zwischenschicht aus rekarbonatisiertem Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ), der durch das reagieren von Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) aus der Luft mit dem gebrannten Kalk ( $\text{CaO}$ ) entstanden ist. Geringe Verunreinigungen von Gips und Quarz sind vorhanden, die Größenordnungen sind in Abb. 3 angegeben.

Der Widerspruch zu der in der Literatur vorherrschenden Meinung [10], wo für die weiße Zwischenschicht Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) als Material angegeben wird, kann damit zusammenhängen, daß in vielen Minen ein Gemisch von Kalk und Selenit gefunden werden. Untersuchungen des Mörtels der Sphinx in Gizeh, bestehen zu 50% aus Kalk und 50% aus Gips [6].

Die gute Haltbarkeit dieser Schichten und Farben auf dem Holz der Särge hat vermutlich darin seinen Ursprung, daß das Holz mit dem Nilschlamm reagiert und die epitaktisch aufgewachsene  $\text{CaCO}_3$  Schicht (Dicke  $>1$  mm) spannungsfrei und daher ohne Rissbildung ist. D.h., daß das Ausdehnungsverhalten bei Temperaturschwankungen kein Abblättern bewirkt.

Wie bereits im Text angemerkt ist, wurde für hölzerne ägyptische Grabbeigaben, wie z.B. Kästen für die Arbeiter des Jenseits, miniaturisierte hölzerne Barken und farbig bemalte Skulpturen das gleiche Verfahren der oben beschriebenen weißen Schichten angewendet. Man bezeichnet diese heute fälschlicherweise mit "stuckiert", d.h. früher wurden die aus einer Gipsmischung hergestellte Ornamentik für Zimmerdecken als Stuck bezeichnet.

Die Verbrennungsprofile der Holzuntersuchungen können für die Identifikation von Holzarten herangezogen werden. Voraussetzungen dafür sind, gleiches Alter der zu untersuchenden Hölzer und reproduzierbare Versuchsbedingungen. Stufenanalysen, welche die Komposition vergleichbar machen, bringen einen weiteren quantitativen Aspekt.

Im Altertum wurde durch zu niedrige Brenntemperaturen vom ursprünglichen Kalk eine unvollständige Kalzination erzielt, d.h. es ergaben sich unterschiedliche Mischungen von alten und rekarbonatisiertem  $\text{CaCO}_3$ . Die mit der Radiokarbonmethode erhaltenen Daten weichen deshalb weit vom entsprechenden Alter ab und sind deshalb unbrauchbar. Die hier parallel zum Holz mit der Radiokarbonmethode untersuchte "weiße Schicht" zum Sargfragment, Luxor ergab ein Alter von etwa 34730 Jahren.

Vergleicht man den thermischen Zerfall von Karbonate mit verschiedenen thermodynamischen Stabilitäten, z.B. verschiedener Kristallisationszustände, kann man die Quantitäten bestimmen. Die Altersbestimmung kann dann mit diskreten Mengen rechnen, besonders weil das Holz auf dem die Schichten gewachsen sind, als zusätzliche Referenz herangezogen werden kann. Diese Ergebnisse bleiben einer späteren Publikation vorbehalten, bis durch weitere Messungen eine Größenordnung der Reproduzierbarkeit vorliegt.

\* \* \*

Frau Dr. Stella Felder-Casagrande, Institut für anorganische Chemie, Universität Zürich, Winterthurerstr. 190, CH-8087 Zürich, danke ich für die Durchführung der Pulverröntgendiffraktionsmessungen der weißen Deckschichten der Mumien-särge.

Frau PD Dr. Ingrid R. Metzger, Raetisches Museum, Hofstrasse 1, CH-7000 Chur bin ich für Proben der Deckschicht und des Holzes des Mumiensarges sehr zu Dank verpflichtet.

Herrn Dr. Rolf Kraus und der Restaurateurin Frau Margarete Pohl, Ägyptisches Museum und Papyrussammlung, Schloßstrasse 70, D-14059 Berlin danken wir für die Überlassung von Proben der Deckschicht von fünf Mumiensärgen verschiedener Epochen für unsere Untersuchungen [2].

Herrn Dr. Thomas Psota, Bernisches Historisches Museum, Helvetia Platz 5, CH-3000 Bern 6, danken wir ebenfalls für Proben der Deckschichten und Holz des Mumiensarges. Weiterhin sind wir auch für die Benutzung von Bildmaterial und der Zitierung eines Textabschnittes der Broschüre [3] zu Dank verpflichtet.

Herrn Dr. Cornel Dora, dem stellvertretenden Bibliothekar der Stiftsbibliothek St. Gallen, Klosterhof 6 D, CH-9004 St. Gallen sind wir für eine Probe der weißen Deckschicht und einer Holzprobe des Mumiensarges sehr zu Dank verpflichtet.

## Literaturzitate

- 1 R. Drenkhahn, Die Handwerker und ihre Tätigkeiten im alten Ägypten, Otto Harrassowitz, Wiesbaden, 1976, Ägyptologische Abhandlungen Bd. 31.
- 2 R. Krauss, Die Mumie und ihre Grundausstattung mit Sarg und Eingeweide-Gefäßen (Totenkult I), Ägyptisches Museum, 11331/17, Staatliche Museen, Preußischer Kulturbesitz, Berlin.
- 3 A. Küffer und M. Renfer, Das Sargensemble einer vornehmen Dame aus Theben, Antike Welt, Philipp von Zabern, 28 (1997) 103–112.
- 4 H. Müller, Bericht über die Ägyptische Mumie in der Stiftsbibliothek St. Gallen, Katholische Stiftsbibliothek, Kanton St. Gallen, Berlin 1934.
- 5 H. G. Wiedemann, *Thermochim. Acta*, 229 (1993) 163.
- 6 S. Felder-Casagrande, Hans G. Wiedemann und A. Reller, *J. Thermal Anal.*, 49 (1997) 971.
- 7 W. Wölfl, *Advances in Accelerator Mass Spectrometry, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B79 (1987) 1–22.
- 8 E. Brunner-Traut, *Ägypten*, 4. Auflage (1982), Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, Berlin. Köln. Mainz, p. 663
- 9 A. Erman, *Ägypten und ägyptisches Leben*, Gerstenberg Verlag, 4. Auflage, 1987. Neu bearbeitet von H. Ranke.
- 10 A. Lucas, *Ancient Materials and Industries*, London, 1948.