

Über den Nachweis von DNA in altägyptischen Mumien

Von Svante Pääbo

Die Vorstellungen der alten Ägypter über das Wesen des Todes waren der Grund für ihr Bemühen, die ihrer Ansicht nach notwendigen Voraussetzungen für ein Weiterleben nach dem Tode zu schaffen. Hierzu gehörte u. a. die Mumifizierung des Leichnams. Deshalb finden sich heute in den Museen Ägyptens und vieler anderer Länder Tausende mehr oder weniger gut erhaltene Mumien. Die ältesten von ihnen stammen aus der Zeit um 3500 v. u. Z. und geben so schon für eine frühe Periode ägyptischer Geschichte Informationen über damalige Vorstellungen zu existenziellen Fragen. Zugleich stellen sie aber auch ein einmaliges biologisches Material dar.

Die wichtigste schriftliche Quelle, in der Fragen der altägyptischen Mumifizierung behandelt werden, verfaßte der griechische Historiker Herodot, der im 5. Jh. v. u. Z. auch das Land am Nil bereist hatte. Sowohl dessen Beschreibung als auch direkte Studien an Mumien zeigen, daß zuerst der Körper des Toten durch einen Bauchschnitt geöffnet wurde. Außer dem Herzen entnahm man dem Körper alle Eingeweide und mumifizierte sie separat; in vier sog. Kanopengefäßen wurden sie im Grab deponiert. Das Herz, das man als den Sitz des Gefühlslebens und der Lebenskraft ansah, beließ man im Körper. Dagegen konnte das Gehirn durch die Nase entfernt werden; man bewahrte es nicht auf. Der Körper des Toten wurde dann durch Einbettung in kristallines Natron getrocknet.

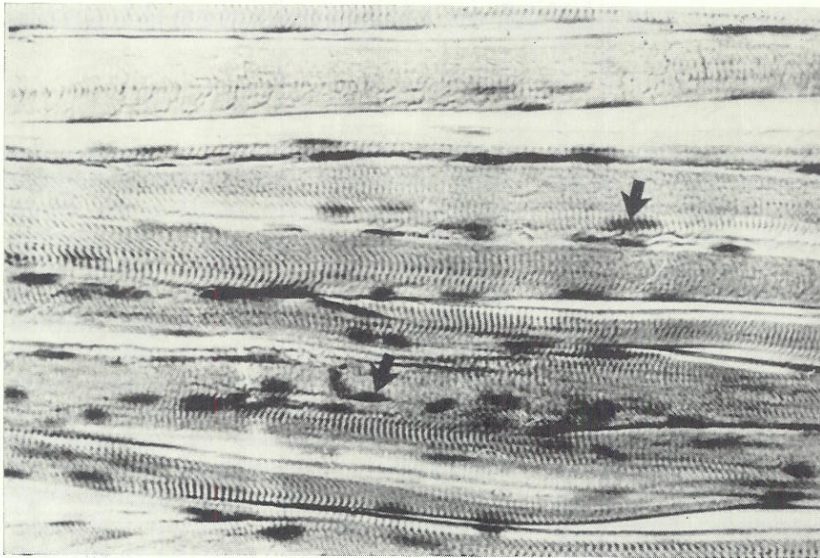
Natron ist ein Gemisch von Natriumkarbonat und Natriumbikarbonat, das vor allem im westlichen Wüstengebirge gefunden wird und oft auch gewöhnliches Kochsalz enthält. Es ist stark hygroskopisch, also ein ideales Mittel, um dem Körper schnell Wasser zu entziehen. Dennoch dürfte dieser Prozeß einige Wochen in Anspruch genommen haben. Es ist unbekannt, wann dieses Verfahren zur künstlichen Mumifizierung erfunden wurde. Die aus der prädynastischen Zeit stammenden Mumien sind nicht durch Verwendung von Natron, sondern natürlich, d. h. durch den sonnenheißen Wüstensand,

in dem sie begraben lagen, entstanden. Man kann annehmen, daß solche natürlichen Mumien die Ägypter anregten, die Körper ihrer Toten auch künstlich so zu erhalten.

Die ägyptischen Mumien haben schon lange naturwissenschaftliches Interesse erregt. Seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts wurden viele mikroskopische Untersuchungen mumifizierter Gewebe ausgeführt. In den letzten Jahrzehnten sind von Experten verschiedener naturwissenschaftlicher Gebiete auch einige systematische Untersuchungen vorgenommen worden. Dabei untersuchte man u. a. Proteine und Fette.¹

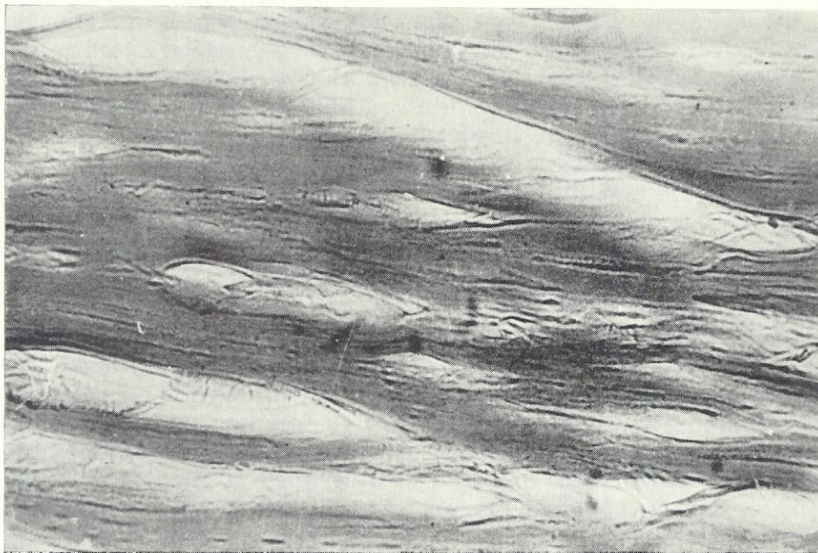
Das Interesse des Verfassers an altägyptischen Mumien wurde dadurch stimuliert, daß die Möglichkeiten, die menschlichen Erbanlagen zu studieren, sich im letzten Jahrzehnt stark verbesserten. Heute wissen wir, daß alle genetischen Informationen, die ein Individuum von seinen Eltern geerbt hat, in sämtlichen Zellkernen des Körpers in Form von DNA (= DNS = Desoxyribonukleinsäure) eingelagert sind. DNA ist eine lange Kette verschiedener Genbausteine, deren Abfolge die Struktur der Proteine der Zelle und damit ihre Eigenschaften bestimmt. Deshalb kann man durch Isolierung der DNA aus einer Zelle irgendeines Körperteiles daran alle Gene des Individuums studieren. Dazu verwendet man heute die Hybrid-DNA-Technik, durch die es oft leichter ist, das Gen eines bestimmten Proteins zu isolieren und zu untersuchen als das Protein selbst. Wäre es möglich, DNA von altägyptischen Mumien zu isolieren, so ergäben sich daraus fast unbegrenzte Möglichkeiten, die genetische Konstitution der alten Ägypter sowie deren Verwandtschaft untereinander und mit modernen Ägyptern zu studieren.

Bisher lagen keine Informationen darüber vor, ob Nukleinsäuren in mumifiziertem Gewebe erhalten geblieben waren. Daher wurde eine Anzahl von Muskelproben untersucht, die Mumienfragmenten aus dem Viktoria-Museum in Uppsala (Schweden) entnommen worden waren. Als Vergleichsmaterial wurde ein menschlicher Muskel



1 Quergestreifte menschliche Muskelfasern mit Zellkernen (Pfeile) in 500facher Vergrößerung

2 Altägyptischer Mumienmuskel ohne erkennbare Zellstrukturen in 500facher Vergrößerung ▼



verwendet, der – um gewissermaßen eine Mumifizierung zu imitieren – vorher vollständig luftgetrocknet wurde. Beide Probenarten sind dann rehydriert worden. Dabei quollen sie wieder auf und wurden so weich, daß sich mikroskopische Präparate herstellen ließen. Der luftgetrocknete Muskel sieht sehr gut erhalten aus (Abb. 1); man kann sowohl die quergestreifte Muskelstruktur, die auf der Anordnung der Proteine in den

Zellen beruht, als auch die Zellkerne (Pfeile) erkennen. Derartige Strukturen sind dagegen im altägyptischen Muskel nicht feststellbar (Abb. 2). Die Versuche, DNA aus diesen Proben zu extrahieren, ergaben daher – wie erwartet –, daß nur der luftgetrocknete Muskel reichlich guterhaltene DNA enthielt. Worauf konnte dieser Unterschied beruhen?

Es ist unwahrscheinlich, daß nur das hohe

Alter der Mumienprobe allein eine derartige Veränderung bewirkt hätte. Wahrscheinlicher dagegen ist, daß Enzyme hierfür die Ursache waren. Eine große Anzahl von Enzymen befindet sich endogen in den Zellen und baut nach dem Tod spontan u. a. die DNA der Zellen ab. So waren es also – neben der bakteriellen Auflösung des Organismus – gerade diese autolytischen Prozesse, die die alten Ägypter durch die Trocknung mit Hilfe von Natron verhindern wollten. Wenn man nämlich dem Gewebe das Wasser völlig entzieht, werden die chemischen Reaktionen, die für ihren Ablauf Wasser benötigen, unterbrochen. Theoretisch könnten daher die Gewebe, die während der Mumifizierung am schnellsten getrocknet waren, Zellstrukturen besser bewahrt haben. Dieser Hypothese nach wären also oberflächlich gelegene Gewebe, wie z. B. Haut, Finger oder Ohr, für derartige Untersuchungen besser geeignet als Muskulatur aus dem Körperinneren, wo die autolytischen Prozesse bis zur vollständigen Austrocknung wesentlich länger wirken konnten.

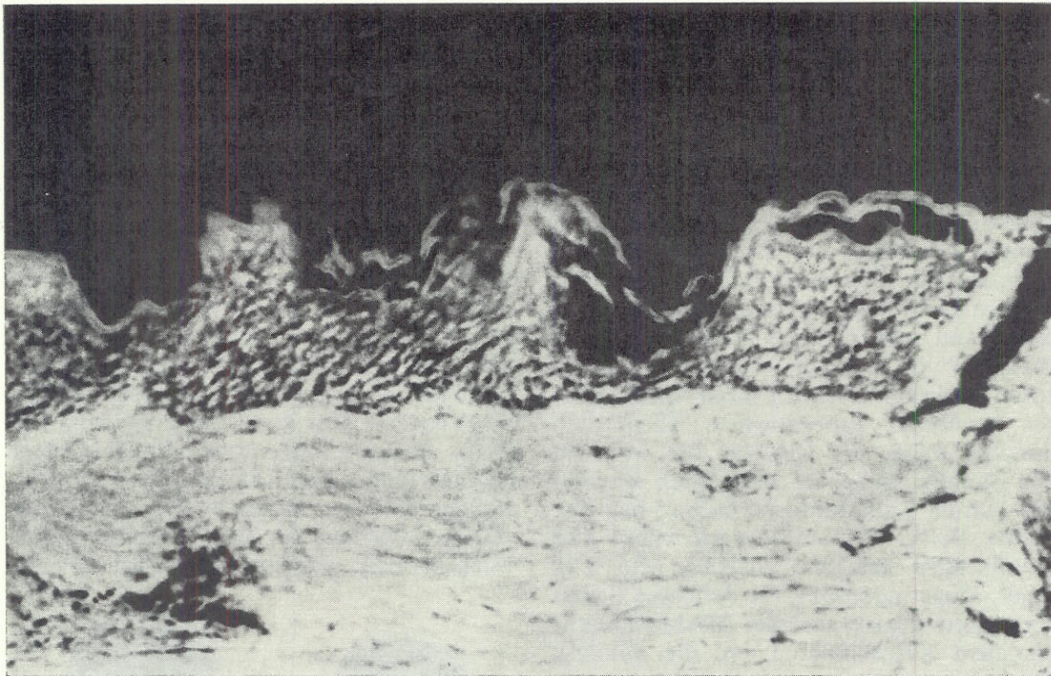
Gezielt entnommene Gewebeproben von Mumien des Ägyptischen Museums der Staatlichen Museen zu Berlin/DDR boten eine Möglichkeit, diese Arbeitshypothese zu überprüfen.² Dabei wurde großer Wert darauf gelegt, neben Gewebeproben aus dem Körperinneren auch von oberflächlich gelegenen Partien Material zu erhalten. Hier von sind dann mikroskopische Präparate hergestellt worden. Diese wurden sowohl nach konventioneller Art als auch mit einem Spezialmittel eingefärbt, das im ultravioletten Licht fluoresziert, wenn es an DNA gebunden wird. Die Oberhaut einer Kindermumie (Abb. 3) erwies sich als sehr gut erhalten, u. a. sind die Zellkerne klar erkennbar (Abb. 4). Daß diese Zellkerne auch fluoreszieren, wenn das Präparat entsprechend gefärbt wurde, ist deutlich auf unserem Tafelbild zu sehen. Ähnliche Resultate ergaben sich bei den Knorpelzellen eines Außenohres, während Proben von Muskulatur und anderen, tiefer gelegenen Geweben – so auch von Eingeweiden, die einst dem Körper entnommen und in Kanopengefäßen separat aufbewahrt wurden – keine DNA aufwiesen. Diese Ergebnisse schienen also die Arbeitshypothese zu bestätigen, daß die be-

sten Voraussetzungen, DNA zu erhalten, in den oberflächlichen Geweben vorhanden sind.

Nach diesen positiven Resultaten folgte der Versuch, DNA aus oberflächlich gelegenen Geweben eines mumifizierten Kopfes zu extrahieren. Dieser Kopf stammt aus Theben-West und wird in Uppsala aufbewahrt. Auch hier konnte DNA gewonnen und mit Gel-Elektrophorese analysiert werden (Abb. 5). Bei dieser Methode läßt man die DNA in einem elektrischen Feld wandern, und je kleiner, d. h. je mehr abgebaut die DNA ist, desto weiter wandert sie. Unter A auf der Abb. 5 sieht man die Mumien-DNA, während unter B sich die DNA einer frischen Blutprobe markiert. Man kann feststellen, daß die Mumien-DNA wesentlich stärker abgebaut ist als die rezente DNA. Doch befindet sich ein kleiner Teil der alt-



3 Kindermumie des Ägyptischen Museums Berlin/DDR



4 Schnitt durch die Oberhaut der Berliner Kindermumie in 200facher Vergrößerung (van Gieson-Färbung; Hell-Dunkel-Vertauschung)

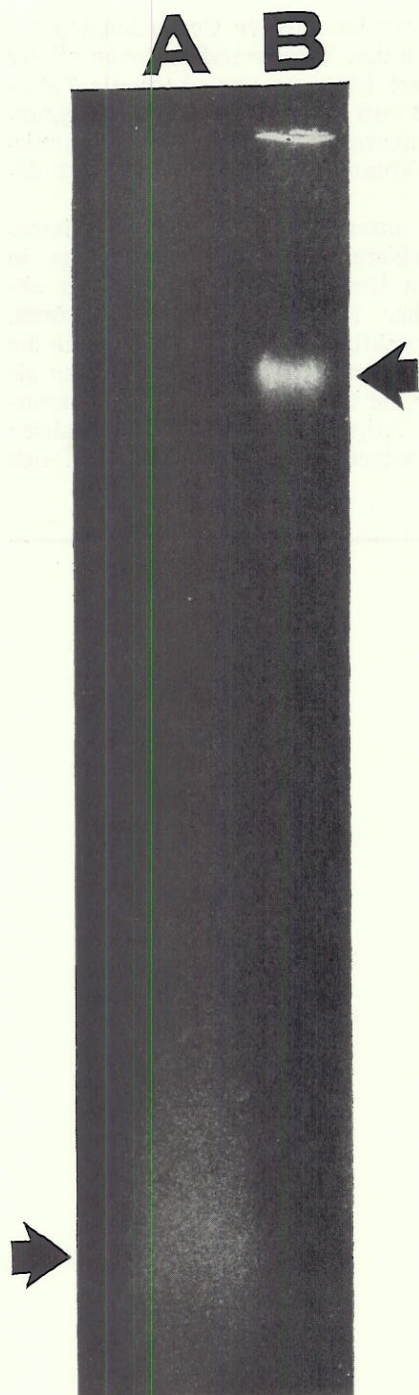
ägyptischen DNA – die sich als abgestufte, bandförmige Aufhellung bei der Gel-Elektrophorese zeigt und im Foto nur schwer zu erkennen ist – fast auf gleichem Niveau mit der frischen Vergleichsprobe. Das bedeutet, daß dieser Teil seiner Größe nach ausreichend intakt ist, um Untersuchungen von Genen aus dem alten Ägypten zu ermöglichen.

Gegenwärtig sind die Anstrengungen am Institut für Zelforschung der Universität von Uppsala darauf gerichtet, Möglichkeiten moderner molekulargenetischer Technik für das Studium altägyptischer Gene zu erproben. Dabei muß die DNA mit sog. Restriktionsenzymen zerlegt werden. Diese zerschneiden die DNA an bestimmten Stellen in der Abfolge der Gen-Bausteine. Auf diese Weise erhält man spezifische DNA-Fragmente, die mit Hilfe der Gel-Elektrophorese und radiologischer Methoden identifiziert werden können. Durch systematische Untersuchungen lassen sich dann struk-

turelle Ähnlichkeiten und Unterschiede an gewissen Genen studieren, z. B. zwischen zwei Mumien oder zwischen einer Gruppe von Mumien und einer Gruppe moderner Ägypter.

Von größtem Interesse wäre es, solche Fragmente zu untersuchen, die bei den Individuen der Bevölkerung in verschiedenen Varianten vorkommen, z. B. jene, die Informationen für Transplantationsantigene enthalten. Transplantationsantigene sind Proteine, die sich an der Oberfläche aller Zellen des Organismus befinden. Ihr Informationsgehalt ist so vielfältig, daß die Wahrscheinlichkeit von gleichen Transplantationsantigenen auf den Zellen zweier nicht verwandter Individuen äußerst gering ist. Dies führt dazu, daß der Körper ein transplantiertes Organ, das von einer nicht verwandten Person stammt, abstößt. Mit anderen Worten: Transplantationsantigene weisen bedeutend mehr Unterschiede zwischen verschiedenen Individuen auf als beispielsweise Blutgruppen. Verwandtschaftsanalysen auf der Basis von Transplantationsantigenen sind daher äußerst zuverlässig.

Mit der oben erwähnten Technik sollen aber nicht die Transplantationsantigene selbst, sondern jene DNA-Fragmente unter-



5 Gel-Elektrophoretische Analyse der DNA eines mumifizierten Kopfes (A) im Vergleich mit einer frischen Blutprobe (B). Acridinorange-Färbung

sucht werden, die die Informationen für die Transplantationsantigene enthalten. Wenn wir diese DNA-Fragmente für Transplantationsantigene von altägyptischen Mumien studieren könnten, wäre es möglich, eine Reihe von Fragen zu klären, die schon lange in der Ägyptologie diskutiert werden.

In dieser Zeitschrift hat z. B. D. Schnabel die Frage behandelt, wer die Mutter von Tut-anch-Amun sein könnte.³ Durch Untersuchungen der Gene von Tut-anch-Amun, Amenophis III., Juja und Tuja könnte diese Frage einer Klärung nähergebracht werden, wengleich die Häufigkeit von Inzucht, die wohl in der königlichen Familie vorkam, derartige Forschungen erschweren würde. Eine Frage, die dagegen sicher durch Untersuchungen der DNA königlicher Mumien geklärt werden könnte, ist die des Dynastiewechsels. Die Einteilung der ägyptischen Geschichte in Dynastien geht auf den Historiker Manetho (um 300 v. u. Z.) zurück, und man ist der Meinung, daß der Übergang von einer Dynastie zur anderen den Übergang der Regierungsgewalt von einer Herrscherfamilie zur anderen repräsentiert. Oft aber ist es unklar, ob dies wirklich der Fall war. Durch DNA-Studien, die den Verwandtschaftsgrad zwischen königlichen Personen zweier aufeinanderfolgender Dynastien aufzeigen, könnte dieses Problem leicht gelöst werden. Außerdem wäre es möglich, die wichtige Frage zu studieren, wie es sich mit der sozialen Mobilität und mit den Völkerwanderungen im alten Ägypten verhielt, indem man anhand der DNA die Verwandtschaft zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen dokumentiert. Eine solche Untersuchung ergibt sich aus dem Umstand, daß ziemlich viele Bevölkerungsgruppen im pharaonischen Ägypten ihre Angehörigen nach dem Tode mumifizierten, wenn auch die jeweiligen Methoden hier anspruchsloser als in den staatstragenden Kreisen waren.

Schließlich wären molekulargenetische Untersuchungen an altägyptischen Mumien auch von großem biologischem Interesse. Verschiedene Forschungsergebnisse weisen z. B. darauf hin, daß die in der Bevölkerung vorkommenden Typen von Transplantationsantigenen sich ändern können, wenn die Menschen neuen Umweltfaktoren ausgesetzt sind. Unsere Auffassung in diesen

Fragen beruht aber nur auf Vergleichen von jetzt lebenden Bevölkerungsgruppen.

Untersucht man die Bausteinfolge gewisser Gene bei heutigen Ägyptern und vergleicht diese mit entsprechenden von Mumien aus pharaonischer Zeit, so könnte man ein Bild davon erhalten, welche Veränderungen sich bei der gleichen Bevölkerung während einiger Tausend Jahre vollzogen haben. Dies wäre das erste Mal überhaupt, daß eine solche „historische“ Untersuchung von genetischen Veränderungen möglich ist. Dabei scheint Ägypten für eine solche Studie besonders geeignet, da die Menschen in dieser Flußtalkultur genetisch wahrscheinlich sehr isoliert gelebt haben. Das läßt nicht nur die Lage des Landes, das durch

die geomorphologischen Gegebenheiten allseitig von den Nachbarzivilisationen relativ abgetrennt ist, vermuten. Auch die Tatsache, daß sich die Verteilung der Blutgruppen im heutigen Ägypten von allen umliegenden Völkern unterscheidet, spricht dafür.

Wenn unsere sich über mehrere Wissenschaftsgebiete erstreckende Forschung in größerem Umfang eine Untersuchung alt-ägyptischer Mumien ermöglichen würde, wären fruchtbare Resultate sowohl für die biologisch-medizinischen Wissenschaften als auch für die Geschichtsforschung zu erwarten. Die Arbeiten in den nächsten Jahren werden zeigen, ob diese Erwartungen sich erfüllen.

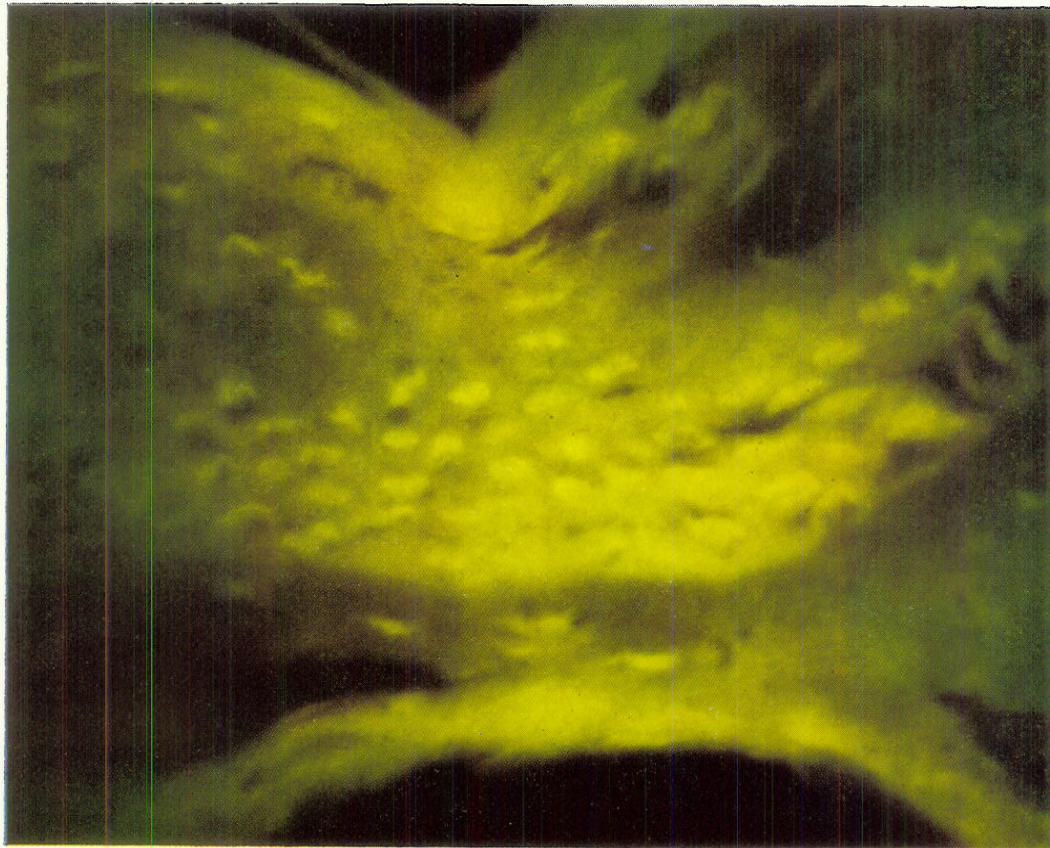
Anmerkungen

- 1 Vgl. z. B. R. A. Barraco, *Palcobiochemistry*, in: A. u. E. Cockburns (Hrsg.), *Mummies, Disease and Ancient Cultures*, Cambridge/USA 1980, S. 312–326.
- 2 Verfasser dankt an diese Stelle Dr. habil. W. Müller, Direktor des Ägyptischen Museums der Staatlichen Museen zu Berlin/DDR, für die Genehmigung der Entnahme von Mumien-gewebe. Für die Unterstützung der Forschungsarbeiten ist Prof. Dr. P. A. Peterson vom Institut für Zellforschung des Wallenberg Laboratoriums der Universität von Uppsala zu danken.
- 3 D. Schnabel, Wer waren Tut-ench-Amuns Eltern? Untersuchungen an ägyptischen Pharaonenmumien, in: *Das Altertum* 26, 1980, S. 89–95.

(Abbildungsnachweis:

- 1, 2, 4 u. 5 Autor;
- 3 Staatliche Museen zu Berlin/DDR)

Dr. S. Pääbo,
Institut für Zellforschung
des Wallenberg Laboratoriums
der Universität von Uppsala, Box 562,
S – 75122 Uppsala, Schweden



Schnitt durch die Oberhaut einer ägyptischen Kindermumie aus dem Ägyptischen Museum der Staatlichen Museen zu Berlin/DDR, in der nach Einfärbung des Präparates mit Ethidiumbromid bei 500facher Vergrößerung fluoreszierende Zellkerne erkennbar sind. Das Färbungsmittel dient insbesondere dem Nachweis der in den Zellkernen eingelagerten DNA, eines Moleküls, das der

Träger aller genetischen Informationen eines Individuums ist.

Der 1983 erstmals erbrachte Nachweis von DNA in altägyptischen Mumien zeugt von den vorhandenen Möglichkeiten, in naher Zukunft noch offene Fragen zur Geschichte des Landes am Nil naturwissenschaftlich exakt zu beantworten (vgl. hierzu den Beitrag S. 213 ff.).

(Foto: Wallenberg-Laboratorium, Uppsala)

