



Die Pyramiden von Giseh sind das einzige erhaltene der sieben Weltwunder der Antike. Über die Konstruktion der Cheopspyramide etwa, die bis zu den Kathedralen des Mittelalters das höchste Bauwerk der Erde war, streiten sich die Gelehrten. Vielleicht wurde jetzt des Rätsels Lösung gefunden. Die Pyramiden von Giseh (von links): Mykerinos, Cephren, Cheops  
Foto: Fotograf/Peter Arnold

## Wendetunnel nach oben

Computersimulation soll den Bau der Cheopspyramide erklären

Wie kann man ohne Rad, ohne Eisenwerkzeug, ohne Flaschenzug, das heißt allein mit Muskelkraft drei Millionen Steinblöcke zu einem 146 Meter hohen Berg aufschichten? Wobei die Quader im Durchschnitt ein Gewicht von 2,5 Tonnen haben. Die dem Pharao Khufu (griechisch: Cheops) zugeschriebene Pyramide in Giseh war bis zu den Kathedralen des Mittelalters das höchste Bauwerk der Erde, also gut vier Jahrtausende lang. Erklärungsversuche zur Konstruktion dieses Weltwunders gibt es wie Sand am Stadtrand von Kairo. Der Neueste aber übertrifft alle, weiß Jean-Pierre Houdin: „Ich bin der Erste, der mit einer 3-D-Simulation beweist, dass seine Theorie auch in der Realität funktioniert.“

Der Pariser Architekt kam durch seinen Vater darauf. Henri Houdin, ein pensionierter Bauunternehmer, hatte 1999 einen TV-Bericht über die Pyramiden gesehen. Die dort präsentierten, bei Ägyptologen gängigen Vorstellungen schienen ihm technisch unmöglich oder ökonomisch unsinnig: Staffelfräse an der Außenwand? Hätte man kaum auf der schrägen Fläche befestigen können und wären zu schwach für die 63 Tonnen schweren Decksteine der so genannten Königsgrabkammer. Eine gerade Rampe bis zur Spitze? Hätte 1,6 Kilometer lang sein müssen und dreimal so viel Masse gehabt wie die Pyramide selbst. Und nach dem Bau hätte man dieses Material spurenfrei beiseite räumen müssen. Eine Rampe aus leichten Ziegeln, die sich wie eine Spirale um den Bau in die Höhe windet? Hätte so schmal

sein müssen, dass sich die Arbeiter im Weg gestanden wären; außerdem wäre der fragile Behelf wahrscheinlich regelmäßig zusammengebrochen.

Zur Untersuchung des Rätsels gründeten die Houdins einen Verein. Ihre Idee: „Die Pyramide wurde von innen nach außen gebaut.“ Ermutigt wurden sie durch Ergebnisse einer französischen Forschergruppe, die 1986 die Materialdichte der Cheopspyramide untersucht und dabei unter der Außenschicht eine spiralförmige Zone anormal niedriger Dichte gefunden hatte.

Mit einem Dutzend Ingenieure, Programmierer und Designer des Unternehmens

### 4000 Arbeiter schufteten rund 20 Jahre lang

Dassault Systèmes, das 3-D-Software zur Produktentwicklung herstellt, baute Jean-Pierre Houdin das Wunder von Giseh virtuell nach. Das Ergebnis sei „kein Film und schon gar nicht Science-Fiction“, ist Houdin stolz: „Was Sie sehen, sind Daten, geometrisch, physikalisch und funktionell geprüfte Daten.“ Ob Statik, Zugmechanismen, Materialeigenschaften oder die Kraft der Bauarbeiter – alles werde von seinem Modell berücksichtigt.

Die Simulation auf der Internetseite [www.3ds.com/khufu](http://www.3ds.com/khufu) zeigt nun, wie 4000 Arbeiter in rund 20 Jahren die Cheopspyramide errichten konnten: Zunächst werden mit einer 400 Meter langen Außenrampe die

ersten 43 Meter gebaut, 73 Prozent der Pyramidenmasse. Dann wird die Königskammer mit Gegengewichten in Position gebracht. Die restlichen 136 Meter werden vollendet mit 21 Rampentunneln, die im Inneren des Baus eine Art eckige Wendeltreppe bilden. An den Ecken der Pyramide sind die Tunnel-Enden jeweils offen – die auf Schlitten nach oben gezogenen Steinblöcke werden dort um 90 Grad gedreht. Die Außenrampe wird abgebaut, ihr Material vollständig im oberen Teil der Pyramide verarbeitet.

„Die Ägypter sind beim Bauen genauso ökonomisch vorgegangen wie wir heute“, vermutet Houdin. Beim Recycling der Außenrampe und beim Abbau des Hebeseystems verändert sich während des Baus der Druck, der auf den Decksteinen über dem Königsgrab lastet. Houdin ist überzeugt, so die bisher rätselhaften Risse dort erklären zu können. Bestätigt fühlt er sich auch durch Schleifspuren an den Wänden der so genannten Großen Galerie: Dort seien die Gegengewichte für die Granitblöcke der Königskammer in die Tiefe gerutscht.

Die Verfechter alternativer Theorien sind unbeeindruckt von dem neuen Modell. Der Münchner Privatgelehrte Heribert Illig etwa, der ebenfalls ein Buch über den Bau der Cheopspyramide verfasst hat, hält an seiner Lösung fest: Schleppmannschaften, die direkt an den Pyramidenflanken agieren, indem sie über Seilrollen ihr eigenes Gewicht zum Einsatz bringen. Der Bau sei auch nicht 2500, sondern erst 600 vor Christus errichtet worden – also zur Eisen-

zeit, mit geeignetem Werkzeug. Noch weniger lassen sich die Anhänger Erich von Dänikens überzeugen. Ihrer Auffassung nach sind die Pyramiden von Giseh 13 000 Jahre alt und stehen im Zusammenhang mit Besuchern von fremden Sternen.

Im Vergleich zu außerirdischen Baumeistern hat Houdins Theorie einen Vorteil: Sie kann überprüft werden. Die Tunnel mit etwa sieben Prozent Steigung oder zumindest Teile davon müssten noch im Inneren der Pyramide vorhanden sein. Houdin hofft, dass er 2008 dem Baukörper mit Radar und Infrarot auf den Leib rücken kann. Das Jahrtausendrätsel der Pyramidenkonstruktion

### Mit dem Wie ist das Wozu nicht beantwortet

wird vielleicht bald gelöst. Dann müsste nur noch geklärt werden, wozu überhaupt der mysteriöse Steinberg aufgehäuft wurde. Mumien oder Spuren von Begräbnissen wurden bisher nicht gefunden. Der Bau habe einmal als Bibliothek oder astronomisches Observatorium gedient, vermuten einige Nicht-Ägyptologen. Oder ist er doch eine geheimnisvolle Hinterlassenschaft von Weltbaumblümlern? Der tschechische Ingenieur Karel Drbal bemühte sich 1949 um den Nachweis, dass Energien, die in dem Weltwunder wirken, gebrauchte Rasierklingschärfer schärfen. Für alle Fälle ließ er sich einen Cheopspyramiden-Rasierklingschärfer patentieren.  
Martin Ebner

**DVDS** Im Fadenkreuz des Mossad Packende Bilder aus einer dunklen Zeit, eindrucksvolle Erläuterungen von unmittelbar Beteiligten: Wer wissen will, wie sich der israelische Geheimdienst gegen den palästinensischen Terror zur Wehr setzte, für den sind zwei Aktionen, die Geschichte machten, bestens dokumentiert – mit Szenen, die den Betrachter noch heute frösteln lassen: Nach dem Anschlag auf israelische Athleten in München 1972 ordnet die israelische Regierung Vergeltung an – auch in Paris schlägt der Mossad zu. Unvergessen auch das Unternehmen Entebbe im Jahr 1976, als eine Geiselbefreiung aus einer entführten Air-France-Maschine gelang. Beklemmende Bezüge zur Gegenwart hat der dritte Teil der Dokumentation: die Operation Sphinx, bei der Israeli einen irakischen Atomreaktor zerstörte. *wei* [Ascot Elite, ca. 20 Euro]



**Tschernobyl!** Zwei Jahrzehnte und ein Jahr ist es her: In Folge des Super-GAUs im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl wurden hunderttausende Quadratkilometer Land in den heutigen Staaten Weißrussland, Ukraine und Russland verseucht und radioaktive Partikel bis nach Westeuropa getragen. Die dramatischen Vorgänge um den Reaktorbrand werden in Interviews mit Beteiligten wieder lebendig. Es fehlen weder die skandalösen Vertuschungsversuche der Sowjet-Behörden noch der bis heute währende Streit um die Zahl der Opfer, die möglicherweise in die zehntausende geht. „Tschernobyl!“ ist spannend, stellenweise dramatisch inszeniert, aber kein plattes Manifest. Die Kraft der Ereignisse und der Augenzeugenberichte spricht für sich. In einer Zeit, in der Atomkraft wieder als saubere Energie gepriesen wird, sollte man ihnen Gehör schenken. *wb* [Polyband, ca. 15 Euro]



**Schuhbecks Hausmannskost – Italien** Jo, mei, der Schuhbeck Alfons, der kann's halt. Ob Haute Cuisine oder Hausmannskost, ob bayerisch-zünftig oder italienisch-deftig, der Münchner Sternekoch zeigt mal wieder, dass es in der Küche nicht abgehoben zugehen muss, um Köstliches zu produzieren. Es reichen einfache Rezepte – etwa für „gscheide“ Spaghetti Vongole – gepaart mit guten Zutaten, und schon hat man ein richtig schmackhaftes Essen beisammen. Was der Fernsehkoch (assistiert von Schauspielern Elmar Wepper) bereits im Bayerischen Fernsehen präsentiert hat, gibt es nun zum Nachkochen auf drei DVDs. Da das Ganze trotz Schuhbecks Charme die mehr als 400 Minuten kaum tragen würde, gibt es zudem kleine Reportagen. Wie der Koch durch Venedig gondelt oder im Friaal Wein probiert, ist so amüsant wie informativ. *ina* [Universon, ca. 20 Euro]



## Des Menschen Hirn stammt vom Wurm

Das Hirn von Säugetieren ist im Stamm das selbe wie bei Insekten und Würmern – Vorlage war das Nervensystem eines gemeinsamen Vorfahren. Heidelberger Biologen haben untersucht, wie sich die Nervenzellen von Embryonen eines lebenden Fossils entwickelten. Dabei zeigten sich erstaunlich große Ähnlichkeiten zwischen dem Ringelwurm Platynereis und heutigen Wirbeltieren, erklärt Gáspár Jékely vom Team des European Molecular Biology Laboratory in Heidelberg im Fachblatt „Cell“. „Es sieht so aus, als hätten der Ringelwurm Platynereis und die Wirbeltiere von ihrem Vorfahren denselben Aufbau ihres zentralen Nervensystems geerbt.“ Der Zoologe Anton Dohrn hatte schon 1875 vermutet, dass beide Nervensysteme einen Ursprung haben. *wsa*

## Intelligenz verhilft nicht zu Reichtum

Man muss nicht intelligent sein, um reich zu werden. Eher das Gegenteil ist richtig: Menschen, die durchschnittlich intelligent sind, verstehen sich oft besser darauf, zu Reichtum zu kommen, als die geistigen Überflieger. Zu diesem Ergebnis kommt ein amerikanischer Forscher, der eine Langzeitstudie mit mehr als 7000 Teilnehmern ausgewertet hat. Seine Erkenntnisse erscheinen demnächst in der Zeitschrift „Intelligence“. Zusammenfassend stellt er fest: „Misst man finanziellen Erfolg unter Einbeziehung finanzieller Schwierigkeiten, scheinen diejenigen, deren Intelligenz hauchdünn über dem Durchschnitt liegt, am besten dran zu sein.“ Warum aber die Intelligenten öfter in finanziellen Schwierigkeiten sind als die weniger Intelligenten, wird noch erforscht. *wsa*

## Alles so schön bunt hier

Vögel können UV-Licht und somit Farben sehen, die Menschen verborgen bleiben

Vögel sehen mehr als Menschen. Vor allem nehmen sie mehr Farben wahr als wir. Denn in ihren Augen haben die Tiere spezielle Zellen, mit denen sie nicht nur die Grundfarben Rot, Grün und Blau, sondern auch die ultravioletten Wellenlängen des Lichts erkennen. Der zusätzliche Farbkanal liefert ihnen Informationen über ihre Umwelt, die den Menschen verborgen bleiben. So ist ein schwarzer Papagei wie der Schwarzlori im UV-Spektrum gar nicht ganz schwarz, sondern leuchtend gezeichnet. Die angebliche Tarnfarbe ist aus Vogelsicht somit alles andere als unauffällig.

Vogelkundler sind erst Ende der 90er Jahre auf das Phänomen der im ultravioletten Licht leuchtenden Federn aufmerksam geworden. Für sie stellen die neuen Erkenntnisse eine besondere Herausforderung dar. Möglicherweise müssen viele Ergebnisse aus der Verhaltensforschung bei Vögeln neu interpretiert werden. „Wenn wir die Fähigkeit zum UV-Sehen nicht beachten, machen wir etwas falsch“, sagt Georg Pohland, Ornithologe am Zoologischen Forschungsmuseum Alexander König (ZFMK) in Bonn.

Mit seinem Kollegen Peter Mullen führte Pohland die bisher größte Studie zur UV-Reflexion von Federn durch. Sie legten tausende präparierter Vogelbälge unters Spektrometer, um zu messen, ob und an welchen Körperpartien die Federn UV-Licht zurückstrahlen. Für 1600 Arten, das sind etwa zehn Prozent aller bekannten Vogelarten, liegen nun Daten vor. „Es hat sich herauskristallisiert, dass die UV-Reflexion für viele Arten von Bedeutung ist“, sagt Pohland. So sei bei Sperlingsvögeln und Papageien eine typische Gefiederzeichnung im UV-Bereich verbreitet. Im Gegensatz dazu zeigten die Federn von Eulen, die vor allem nachts aktiv sind, gar keine UV-Rückstrahlung.



Blaumeisenmännchen reflektieren UV-Strahlung viel stärker als die Weibchen  
Foto: almidi.net

Dass das Phänomen kein Zufall, sondern für die Vögel im Alltag von Bedeutung ist, wird für Pohland und Mullen gerade am Beispiel der Papageien offenbar: „Der Ultraviolett-Rezeptor im Auge der Papageien ist genau für jene Wellenlängen des UV-Lichts empfindlich, bei denen die Federn die höchste Rückstrahlung aufweisen“, sagt Mullen. „Die Papageien nutzen die UV-Signale für ihre artinterne Kommunikation.“

Farben und Zeichnung der Federn sind für die Vögel vor allem während der Balz wichtig. Blaumeisen etwa, deren Männchen

und Weibchen fürs menschliche Auge farblich nicht zu unterscheiden sind, geben im UV-Spektrum ihr Geschlecht sofort zu erkennen: Die Männchen reflektieren UV-Strahlung stark, die Weibchen deutlich schwächer. Schon Ende der 90er Jahre beobachtete der schwedische Ökologe Staffan Andersson, dass Blaumeisen-Männchen, deren Federn im UV-Licht besonders strahlend erscheinen, einen höheren Paarungserfolg haben.

Mullen machte bei Feldstudien in Australien ähnliche Beobachtungen bei Seidenlaubenvögeln. Die Männchen dieser Art sind geradezu extravagant: Sie protzen sogar mit fremden Federn. Um Weibchen zu betören, bauen sie eine Art Liebeslaube aus Ästen und Halmen, die sie sorgfältig dekorieren. Dafür nutzen sie blaue, stark reflektierende Federn von Pennant-Sittichen. Dass tatsächlich der UV-Anteil relevant ist, wies Mullen mit einem Test nach: Er legte Pennant-Federn aus, wobei ein Teil mit einem unsichtbaren UV-Schutz überzogen war. Die Laubenvögel sammelten die Federn ein, allerdings pickten sie fast nur die unbehandelten, widerscheinenden heraus.

Im üblichen Spektrum basieren Farben in der Regel auf Pigmenten. Diese Stoffe wirken wie Filter, die bestimmte Wellenlängen des Sonnenlichts absorbieren, andere wiederum nicht. So gibt es typische Pigmente für Rot, Gelb oder Grün. Im UV-Spektrum jedoch gibt es nur so genannte Strukturfarben. Ihr Widerschein beruht allein auf

bestimmten Wuchsmerkmalen innerhalb der Federn. Je nachdem, wie die Keratinplättchen in den Federhärchen angeordnet sind, reflektieren sie mehr oder weniger.

Genau diese Strukturmerkmale liefern den Vögeln wiederum wichtige Signale. Papageien etwa werden häufig von Parasiten geplagt. Der Befall macht Tieren mit starkem Immunsystem jedoch wenig aus, ihre Federn zeigen im UV-Licht einen strahlenden Glanz, während schwächere Tiere eher matt erscheinen. „So können Weibchen die fittesten Männchen erkennen“, sagt Mullen. Die Fähigkeit hilft den Vögeln auch in anderen Situationen, etwa bei der Nahrungssuche. Schlehen sind fürs menschliche Auge eher

### Turmfalken nutzen die Fähigkeit zur Jagd

unscheinbar. Doch wenn die Beeren reifen, bilden sie eine Wachsschicht aus, die UV-Licht reflektiert. Für die Vögel erscheinen sie dann als strahlende Punkte im Blätterwerk. Turmfalken nutzen das UV-Spektrum sogar zur Jagd. Feldmäuse haben die Angewohnheit, ihr Revier mit Urin zu markieren. Fatale Weise reflektiert Urin das UV-Licht. So werden die Nager zur leichten Beute.

Pohland und Mullen wollen nun die ökologischen Zusammenhänge rund ums UV-Sehen der Vögel erforschen. Im Sommer fahren sie nach Panama, um Kolibris zu beobachten, die sich von Blütennektar ernähren und dabei die Blüten bestäuben. Die Frage ist: Wie sehen die Vögel die Blüten? Sind UV-Signale mit im Spiel? „UV-Sehen ist ein bislang vernachlässigtes, aber spannendes Thema“, sagt Pohland. In diesem Fall sogar so spannend, dass ein TV-Team des Senders Arte die Forscher begleitet. *Lucian Haas*