

Deduktives Modell zum Bau der Cheops-Pyramide

Logistisches Großprojekt im Alten Reich

Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist es, den Bauprozess der Cheops-Pyramide vollständig und konsistent zu rekonstruieren.

Der Ansatz basiert auf einem streng deduktiven Modell mit klar definierten Prämissen, Konsequenzen bzw. zwingenden Randbedingungen. Auf spekulative Elemente wird vollkommen verzichtet.

Zentrale Aufgabe war der kontinuierliche **Massentransport** von 3 Millionen Standardblöcken zu 2,1 Tonnen, was 99 % des Baumaterials ausmacht. Das Entscheidende war, diese Menge an Gestein innerhalb von 20 Jahren zu produzieren und in die richtige Höhe zu bringen. Der Bau der Pyramide wird daher als **logistisches Großprojekt** verstanden.

Der Bauprozess erfolgt nach einem durchgehenden und **einheitlichen Prinzip**, der ohne Großrampen, Innenrampen oder Hybridlösungen auskommt. Der Einzeltransport der 200 riesigen Blöcke wird ebenfalls erklärt.

Das Modell basiert ausschließlich auf:

- Geometrischen Eigenschaften der Pyramide,
- Einfache und nachweisbare Techniken des Alten Reiches,
- Historische Angaben zur Arbeitsorganisation.

Archäologische Funde dienen dabei nicht als unmittelbarer Beweis für die Bauweise, sondern ausschließlich zur Konsistenzprüfung. Das Modell liefert Kriterien zur möglichen Falsifikation.

Sollte es an einer Stelle mehrere technische Lösungen geben, wird diejenige gewählt, die die **höchste Effizienz** aufweist. Das war die einzige Möglichkeit, das Monument innerhalb von 20 Jahren unter humanen Arbeitsbedingungen zu errichten.

Somit wird das Kriterium der **Effizienz zur zweiten Informationsquelle**. „**Follow the Efficiency**“ ist daher der zentrale Leitgedanke.

Anhand der nachfolgenden **234 Prämissen und Konsequenzen** lässt sich ein konsistentes Modell entwickeln, mit dem sich die Bauweise und die Bauzeit der Pyramide deduktiv wie in einem mathematischen Beweis ableiten lassen. Die Plausibilität jeder Prämisse bzw. Konsequenz wird erläutert und separat kategorisiert.

Das Ergebnis ist eine **Rekonstruktion des Bauprozess** nach technisch-logischen Kriterien. Das Modell hat nur dann Bestand, wenn der Gesamtprozess funktioniert. Das bedeutet, dass alle Komponenten (Rampendesign, Transportmethode, Arbeiterzahlen, Zeitvorgaben) zusammenwirken.

Zur Überprüfung der Theorie der **Multispiral-Rampen** genügt es daher, diese Prämissen und Konsequenzen auf technologische und historische Plausibilität zu prüfen.

Eine komprimierte [Schlussfolgerung](#) befindet sich auf Seite 22.

Dieses Dokument richtet sich ausdrücklich an fachliche Kritik.
Kritische Hinweise, die zur Präzisierung, Korrektur oder Falsifikation einzelner Annahmen beitragen, sind ausdrücklich willkommen.
Kontakt für fachliche Rückmeldung: mail@rudolfvolz.de

Bilder, Tabellen und weitere Informationen gibt es auf der Internetseite www.cheops-pyramid.net/de

Die Prämissen und Konsequenzen werden gemäß ihrer Herkunft und Begründung in folgende **Kategorien** eingeteilt:

- (A) Archäologisch belegt.
Direkt durch archäologische Befunde, Funde oder bauliche Merkmale nachweisbar.
- (H) Historisch überliefert.
Durch antike Schriftquellen oder zeitgenössische Berichte belegt, auch wenn diese zeitlich deutlich nach der Bauphase entstanden sind.
- (E) Experimentell gestützt.
Durch praktische Versuche, experimentelle Archäologie oder reproduzierbare Experimente nachvollziehbar.
- (D) Deduktiv abgeleitet.
Zwingend aus geometrischen, physikalischen oder organisatorischen Zusammenhängen hergeleitet.
- (T) Technologisch zwingend.
Aus den bekannten technischen Möglichkeiten und Einschränkungen des Alten Reiches unvermeidlich folgend; alternative Lösungen würden zu Widersprüchen im Gesamtprozess führen.
- (P) Plausibel, historisch und technologisch.
Weder direkt belegt noch zwingend, aber unter den gegebenen historischen und technologischen Rahmenbedingungen naheliegend und widerspruchsfrei.

Die Klassifikation dient der Transparenz der Argumentation und erhebt keinen Anspruch auf unterschiedliche Wertigkeit der Kategorien.

Sie erlaubt vielmehr eine gezielte Prüfung einzelner Annahmen sowie eine systematische Falsifikation des Modells.

Pyramide

Welche Abmessungen und geometrischen Eigenschaften hat die Cheops-Pyramide?

- 1) Die **Basisbreite** beträgt 230,33 m. (A)
- 2) Die (gerechnete) **Höhe** der Pyramide beträgt 146,59 m. (A)
- 3) Die Pyramide besteht aus 210 horizontalen **Ebenen**. (A)

Gleichförmiges Pyramidenmodell

Bei einem gleichförmigen Pyramidenmodell sind alle Blöcke gleich groß.
Wenn man die Cheops-Pyramide als gleichförmiges Modell betrachtet, wie groß sind dann die einzelnen Blöcke und wieviel Blöcke gibt es?

- 4) Da es 210 Ebenen gibt, beträgt die **Höhe** eines Blocks $146,59/210 \approx 0,7$ m. (D)
- 5) Jeder Block hat die **Länge** von $230,33/210 \approx 1,1$ m. (D)
- 6) Die **gesamte Pyramide** inklusive der äußeren Verkleidung besteht aus ca. 3 Millionen Blöcken. Die genaue Zahl ist $210^3/3 = 3.087.000$ Blöcke. (D)
- 7) Die einzelnen Ebenen der **realen Pyramide** verfügen über unterschiedliche Höhen. (A)
- 8) Jedoch liefert das gleichförmige Modell ein **Maß für den Baufortschritt**. Die Menge an Baumaterial in einer bestimmten Höhe ist beim realen und gleichförmigen Modell identisch. (D)

Volumenanteile

Welcher prozentuale Anteil des Gesamtvolumens entfällt auf die innere Stufenpyramide, die äußere Verkleidung, die riesigen Blöcke und die Hohlräume?

- 9) Die **innere Stufenpyramide** besteht aus 209 Ebenen und etwa 3 Millionen Blöcken. Die genaue Zahl ist 3.056.198 Blöcke, was dem Pyramidenvolumen von **99 %** entspricht. (D)
- 10) Die **äußere Verkleidung** entspricht 22.015 Blöcken, was dem Volumen von **0,71 %** entspricht. (D)
- 11) Es gibt etwa **200 riesige Blöcke** mit bis zu 70 Tonnen. (A)
- 12) Die riesigen Blöcke entsprechen etwa 6.000 uniformen Blöcken, was dem Pyramidenvolumen von **0,2 %** entspricht. (D)
- 13) Die **Hohlräume** bestehen hauptsächlich aus der Großen Galerie. Zusätzlich gibt es noch die Grabkammern und mehrere Gänge. (A)
- 14) Die Hohlräume entsprechen etwa 2.700 Blöcken, was dem Pyramidenvolumen von **0,09 %** entspricht. (D)

Baumaterial

Woher stammt das Material für den Bau der Pyramide?

Wieviel Prozent von dem Material musste über den Nil herangeschifft werden?

- 15) Das Baumaterial für die innere Stufenpyramide (99 %) stammt aus der unmittelbaren Umgebung, den **Kalksteinbrüchen**, die 300 bis 400 m südlich der Pyramide liegen. (A)
- 16) Der weiße Kalkstein für die äußere Verkleidung (0,71 %) wurde aus dem 30 km entfernten **Tura** über den Nil herangeschifft. (A)
- 17) Die 200 riesigen Blöcke (0,2 %) sind hauptsächlich aus Granit und stammen aus den Steinbrüchen in **Assuan**, die 800 km südlich liegen. Das Material wurde über den Nil herangeschifft. (A)
- 18) Insgesamt wurde also nur knapp **1 % des Materials** über den Nil herangeschifft. (D)

Gewicht

Wieviel wiegen ein einzelner Block und die gesamte Pyramide?

- 19) Die **Dichte** von Kalkstein wird mit 2,5 Tonnen pro m³ angenommen. (E)
- 20) Ein **Block** hat ein Gewicht von knapp 2,1 Tonnen. (D)
- 21) Entsprechend den Funden bei anderen Pyramiden hatte das **Pyramidion** ein Gewicht von etwa 2,7 Tonnen. (A)
- 22) Das Gewicht der **gesamten Pyramide** beträgt knapp 6,5 Millionen Tonnen. (D)

Rampen

Aus welchem Material wurden die Rampen gebaut?

Welchen Vorteil haben äußere Spiralrampen?

- 23) Die Rampen wurden aus **luftgetrockneten Lehmziegeln** gebaut, was ein reichlich vorhandener und solider Baustoff ist. Um ein Reißen der getrockneten Ziegel zu vermeiden, muss der durchfeuchtete Lehm mit Sand und Häcksel (Schnittstroh) angereichert werden. (P)
- 24) Die Rampen lagen auf den **Stufen der inneren Stufenpyramide** auf. (T)
- 25) Zur **Armierung** der Rampen wurde Pflanzenmaterial verwendet. (P)
- 26) Eine einzelne **Transportspur** hatte eine Breite von 3 Blockbreiten bzw. 3,3 m. (P)

- 27) Die **Oberfläche der Rampen** wurden durch Kalksteinplatten stabil und eben gehalten. Dadurch wurde verhindert, dass die Holzrollen der Schlitten in die Rampenoberfläche eindrückten. (P)
- 28) Anstelle der Kalksteinplatten hätte man auch **Holzbalken** in Bewegungsrichtung verlegen können. Da jedoch Holz eine Mangelware war, wurden Kalksteinplatten vorgezogen. (T)
- 29) Die Rampen hatten seitliche **Stützflanken** um das Abrutschen zu vermeiden. (T)
- 30) Im Modell wird ein **Böschungswinkel** von 69 Grad benutzt, was auch heutigen Sicherheitsbestimmungen für Dammbauten entspricht. Es gilt die Beziehung:
 $\tan(69^\circ) \approx 4 \cdot 0,7 / 1,1$ (P)
- 31) Entsprechend archäologischer Funde hatten die Rampen einen Winkel um **7 Grad**. (A)
- 32) In dem Modell wird der **Rampenwinkel** von 6,6 Grad gewählt. Damit verlaufen die Rampenelemente im Raster der Blöcke der inneren Stufenpyramide. Nach der transversalen Länge von 5,5 Blöcken mit der Länge von 1,1 m wird die Höhe von 0,7 m bzw. die nächsthöhere Ebene erreicht. Es gilt die Beziehung:
 $\tan(6,6^\circ) \approx 0,7 / (5,5 \cdot 1,1)$ (P)
- 33) Bei einem Rampenwinkel von 6,6 Grad liegt die **Hangabwärtskraft** bei 11,5 %. (D)
- 34) Die **Rollreibung** von Holzrollen mit 25 cm Durchmesser auf hartem und ebenem Untergrund (Lehmziegel mit Kalksteinplatten) beträgt 4 %. (T)
- 35) Die **gesamte Zugkraft**, bestehend aus der Hangabwärtskraft und der Rollreibung, liegt daher bei 15,5 % bezogen auf das Gewicht des Steinblocks. (D)
- 36) Das Volumen eines **Rampenelements** einer Einzelspur mit 3 Blockbreiten beträgt
 $3 \cdot 3 (5,5 \cdot 4) / 2 = 99$ Blockeinheiten. (D)
- 37) Bei 210 Ebenen und 20 Ecken lässt sich das **Volumen einer Einzelspur** abschätzen durch
 $230 \cdot 99 = 22.700$ Blockeinheiten.
 Dies entspricht 0,76 % des Pyramidenvolumens. (D)
- 38) Aus der Berechnung in 36) ist ersichtlich, dass das Volumen einer Spur **quadratisch mit der Breite** wächst. Wenn man die Breite der Rampe um den Faktor x streckt, so muss man auch die Höhe um denselben Faktor x strecken. Die Steigung und die Länge der Rampe bleiben von der Streckung unberührt. (D)

- 39) Dieser simple aber **fundamentale Zusammenhang** wurde von dem Autor im Jahr 2022 entdeckt.
- 40) Dies hat ihn dazu veranlasst, ein Modell aus möglichst **vielen schmalen Einzelspuren** und nicht aus einer breiten Spur zu entwickeln. (T)
- 41) Daher wurde das Modell konsequenterweise **Multispiral-Rampen** genannt. (P)
- 42) Dieses Modell besteht nur aus **äußeren Spiralrampen** und benutzt keine Innenrampe. (T)
- 43) Das Modell folgt nach einem einheitlichen und durchgehenden Bauprinzip und ist **keine Hybrid-Lösung**. (T)
- 44) Ein **detailliertes Rampenmodell** lässt dadurch entwerfen, dass für jede der 4 Seiten der Pyramide ein separater Plan gezeichnet wird. Dabei wird zunächst das Raster der Blöcke in die Pyramidenoberfläche eingezeichnet. Anschließend lassen sich die Rampen einzeichnen. Beim Wenden an den Ecken wird der Rampenpfad konsequent auf dem nächsten Plan fortgesetzt. (E)
(Für Details siehe Tabelle 1)
- 45) Dies ist ein starkes Indiz dafür, dass diese **Art der Planung** auch vor 4.500 Jahren problemlos möglich war. Z.B. hätte man 4 senkrechte Wände von der Größe von 2 mal 2 m nehmen können, und den Rampenverlauf mittels Schnüre simulieren können. Es wäre solange experimentiert worden bis eine passende Konstellation entstanden wäre. Damit wäre die Entscheidung vor Baubeginn und nicht auf der Baustelle gefällt worden. (D)
- 46) Anhand der 4 seitlichen Pläne lassen sich die **Anzahl der Spuren je Höhe** bzw. Ebene ermitteln. Da die seitliche Fläche einer Flanke proportional zur Breite der Spur ist, wird die maximale Anzahl der Spuren zwangsläufig durch die Oberfläche der inneren Stufenpyramide bestimmt. (T)
- 47) Die Tatsache, dass das Volumen der Rampe quadratisch mit ihrer Breite zunimmt, spricht gegen das **Einspiral-Modell** von Georges Goyon aus dem Jahr 1977, welches mehr als 15 % an Rampenmaterial benötigt. (T)
- 48) In der **Anfangsphase** des Baus bzw. auf den untersten Ebenen gab es insgesamt 13 Transportspuren. Diese setzten sich aus 6 Rampenpfade mit je einer Einzelspur und einer breiten Rampe mit 7 Spuren zusammen.
- 49) Die breite Rampe startete an der **Südwest-Ecke** der Pyramide, da diese am nächsten zu den Steinbrüchen war. (T)

- 50) Bis zum Bau der Ebene 55 bzw. bis zur zweiten Wende der breiten Rampe konnte die breite Rampe beliebig breit ausgeführt werden. In dieser Phase gab es genügend Transportspuren und das Projekt wurde ausschließlich durch die maximale Anzahl von 20.000 Arbeitern begrenzt. Dies bedeutet, dass das Projekt bis dahin **arbeiter-limitiert** war. (D)
(Für Details siehe Tabelle 3)
- 51) Die Ebene 55 markiert die **Änderung der Limitierungsart**. Von der Höhe entspricht etwas mehr als dem unteren Viertel der Pyramide. Bis dahin wurden 60 % des Materials verbaut und die Bauzeit betrug 8 Jahre. (D)
- 52) Da mit zunehmender Höhe der Pyramide der Platz immer enger wurde, mussten sämtliche **Einzelspuren** auf unterschiedlichen Höhen beendet werden. (T)
- 53) Ab der zweiten Wende der breiten Rampe bzw. ab dem Bau der Ebene 56 war das Projekt durch die maximale Anzahl der physikalisch möglichen Transportspuren begrenzt. Dies bedeutet, dass die oberen drei Viertel der Pyramide **raum-limitiert** waren. (D)
- 54) Nur die **breite Rampe** führte bis an die Spitze der Pyramide. (T)
- 55) In der Anfangsphase hatte die breite Rampe eine Breite von 7 Spuren. In der späteren Phase konnten davon die äußeren 5 Spuren entfernt und weiter oben zur Verlängerung der Spuren verwendet werden. Ein Großteil des Rampenmaterials konnte somit **recycelt** werden. (T)
- 56) Eine breite Rampe war nicht nur in der Anfangsphase des Baus erforderlich, sondern musste mindestens bis zur halben Höhe der Pyramide funktionsfähig bleiben, um eine ausreichende **logistische Flexibilität** zu gewährleisten. Damit konnten auch nach 15 Jahren noch große Granitblöcke für die Königskammer und der Sarkophag nachgeliefert werden. (D)
- 57) Ein Bauprozess ohne diese **Flexibilitätsreserve** wäre für ein staatliches Großprojekt mit absolutem Vollendungsdruck nicht tragfähig gewesen. (D)
- 58) Die Rampen verliefen **gegen den Uhrzeigersinn**. Nur so war es möglich, dass der Nordeingang während der Bauphase zugänglich blieb. Im andern Fall hätte die breite Rampe, welche an der Südseite startete, den Nordeingang komplett zugedeckt. (D)
- 59) Deshalb ist ein breites **Einspiral-Modell** wie bei Goyon inkompatibel mit einem zugänglichen Nordeingang. (D)
- 60) Das **gesamte Rampenvolumen** betrug 6 % bezogen auf das Volumen der Pyramide. (D)
(Für Details siehe Tabelle 8)

Baumethode

Wurde die Pyramide in horizontalen Ebenen oder in Schichten parallel zur Außenverkleidung errichtet?

Wurde die Außenverkleidung von Anfang an in einem Zug angebracht oder später von oben nach unten hinzugefügt?

- 61) Die **innere Stufenpyramide** mit 209 Ebenen wurde von unten nach oben gebaut. (T)
- 62) Die Bauweise erfolgte nach **horizontalen Ebenen** und nicht nach Schichten parallel zur Außenverkleidung. (A)
- 63) Die breite Rampe, welche als einzige bis zur Spitze der Pyramide führte, hatte auch im oberen Bereich den **konstanten Rampenwinkel** von 6,6 Grad. (T)
- 64) Wenn im oberen Bereich der Rampenwinkel immer größer wird, muss auch das Schleppteam vergrößert werden, obwohl der Platz dort immer enger wird, was zwangsläufig in eine **Sackgasse** führt. (D)
- 65) Dies spricht gegen das Modell von **Georges Goyon**. (D)
- 66) Bei dem Modell von Jean-Pierre Houdin führt das zu einem unauflösbaren Widerspruch, da die **Innenrampe** sich im Innern der Pyramide befindet und der Platz viel enger ist als bei der Außenrampe. (D)
- 67) Im oberen Viertel der Pyramide setzte die breite Rampe teilweise auf den **unteren Umrundungen** auf.
Da die breite Rampe insgesamt 10 m breit war, verblieb im äußeren Bereich der Rampe eine Transportspur von der Breite von 4,5 m. (T)
- 68) Auf dieser äußeren Transportspur konnten die wenigen Blöcke an der Spitze und das **Pyramidion** mit einem Gewicht von 2,7 Tonnen installiert werden. (T)
- 69) Die spitzen Kantenlinien im unteren Bereich des Pyramidions wurden **abgekantet** bzw. abgefast. (A)
- 70) Das Abkanten verhinderte das **Abbrechen** der Außenkanten. Beim Aufsetzen des Pyramidions mussten Keile unter diese Kanten geschlagen werden, um die darunter liegenden Rollen zu entfernen. Somit entstanden hohe Druckkräfte in diesem Bereich. (D)
- 71) Durch die Umwicklung der breiten Rampe entstand an der Spitze eine **Plattform** von 8 mal 8 m. Dadurch wurde eine gute Basis für das Arbeiten an der engen Spitze geschaffen. (T)
- 72) Das Aufsetzen des Pyramidions stellte vermutlich einen **sakralen Abschlussakt** des Bauprojekts dar. Dabei wurde der Pharao auf einer Sänfte bis zur Plattform an der Spitze getragen. Auf sämtliche Rampen befanden sich hochrangige Beamter und Priester. (P)

- 73) Nach dem Aufsetzen des Pyramidions wurden die Rampen von oben nach unten abgebaut. Parallel dazu wurde die **äußere Verkleidung** von oben nach unten angebracht. Dabei sorgten die verbleibenden Rampen für eine gute Arbeitsplattform. Allerdings wurde dieser Prozess nur bis zu einer Höhe von 15 m ausgeführt. (T)
- 74) Bei der **Höhe von 15 m** wurden die Rampen komplett abgebaut. Dann wurde die Außenverkleidung mit den schweren Blöcken von unten nach oben bis zu der Höhe von 15 m gebaut und mit dem oberen Teil der Verkleidung verbunden.
Danach wurden sämtliche Reste der Rampen entfernt. (T)
- 75) Der Grund dafür, dass die Verkleidung im unteren Bereich von unten nach oben angebracht wurde, war wahrscheinlich, dass gestapelte Steinblöcke zwangsläufig **dünnere Fugen** erzeugen. Dadurch war es unmöglich die braune innere Stufenpyramide durch die Fugen zu sehen. Damit wirkte das Gebäude wie aus einem Guss und sah prächtiger aus. (D)
- 76) Wenn zwei schwere Blöcke bündig aufeinander liegen, wachsen die Steine natürlich zusammen. Der Grund dafür ist die geringfügige **Wasserlöslichkeit** des Gesteins und die anschließende Rekristallisation im Bereich der Fugen. Das ist selbstständiges Glätten und Füllen der Fugen. (T)
- 77) Im Laufe der Zeit stellt man fest, dass kein **Stück Papier** in die Fugen passt. Doch in der Anfangsphase war das nicht unbedingt der Fall. Dieses Phänomen gilt auch für andere präzisen Bauwerke wie z.B. Machu Picchu. (D)
- 78) Die Seitenflächen der Pyramide sind nach innen gefaltet, daher ist die **Pyramide 8-seitig**. An der Nordseite beträgt die Wölbung nach innen 94 cm. (A)
- 79) Der **Nordeingang** wurde um 7,29 m von der Mittellinie nach Osten versetzt, da an dieser Linie die höchsten Druckbelastungen auftreten. (A)

Präzision

*Wie war es möglich, dass die Pyramide diese perfekte geometrische Form hatte?
Wie konnte die Nordsüd-Richtung so präzise ermittelt werden?*

- 80) Beim Bau der inneren Stufenpyramide war es nur wichtig, dass der **Mittelpunkt** der einzelnen Ebenen senkrecht nach oben wanderte. (T)
- 81) Mit dem Aufsetzen des Pyramidions wurde die **exakte Proportion** der Pyramide bestimmt. (T)

- 82) Dann begann die eigentliche **Präzisionsarbeit** durch das Anbringen der äußeren Verkleidung. Zur genauen Bestimmung des Rampenwinkels gab es große Winkellots. (P)
- 83) Die Arbeiter hatten **freie Sicht** nach oben und nach den Seiten. (D)
- 84) Dies ist der Grund, warum sich dieser Prozess über **1,6 Jahre** erstreckte, obwohl dabei nur 0,7 % des Materials verbaut wurden. (D)
- 85) Zur Bestimmung der **Nordsüd-Richtung** wurde ein Schattenstab ähnlich dem indischen Gnomon verwendet. Da eine Einzelmessung mit Fehlern behaftet ist, konnte die hohe Präzision nur statistisch über viele Messungen bestimmt werden. (T)
- 86) Präzise **horizontale Ebenen** konnten durch das Einschwemmen mit Wasser bestimmt werden. (T)
- 87) Eine lange **präzise Linie** entlang den Basiskanten der Pyramide konnte mithilfe einer schwimmenden Schnur ermittelt werden. Hier wurde der Durchschnittswert über mehrere Messungen bestimmt. (T)

Arbeiter

Wie viele Arbeiter gab es an der Baustelle?

Warum gab es während der Nilflut mehr Arbeiter?

- 88) An der Baustelle gab es ständig **10.000 Arbeiter**. (H)
- 89) Während der **Nilflut** waren zusätzlich 10.000 Bauern über 3 Monate im Einsatz. In diesem Zeitraum gab es also 20.000 Arbeiter. (A)
- 90) Während $\frac{3}{4}$ der Jahreszeit gab es also nur die Hälfte der Belegschaft bzw. die **Hälfte der Produktivität**. In den restlichen $\frac{1}{4}$ der Zeit gab es die volle Produktivität. (H)
- 91) Die **Anzahl der Transportspuren** musste daher auf die volle Belegschaft ausgelegt werden. Im unteren Drittel der Pyramide war dies problemlos möglich, doch weiter oben konnte die Belegschaft aus Platzgründen nicht mehr vollständig eingesetzt werden. (T)
- 92) Der **produktive Teil** der Arbeiter war in den Steinbrüchen oder mit Schleppen beschäftigt. Dieser betrug 66 % von der kompletten Belegschaft. (P)
- 93) Der produktive Teil konnte nur als **Summe** betrachtet werden, denn die Aufteilung in Steinbrüche und Schleppen hing von der Höhe des Baufortschritts der Pyramide ab. (D)

- 94) Der **Overhead** mit 34 % setzte sich folgendermaßen zusammen:
Bau und Instandhaltung der Rampen 12 %,
Schlitten, Werkzeuge und Reparatur 4 %,
Planung, Aufsicht, Ärzte, Priester 7 %
Catering 8 %,
Krankenstand 3 %. (P)

Transport

Warum konnte nur Menschenkraft und keine Tierkraft genutzt werden?

Es gab die Transportmethoden mit gleitenden Schlitten, Schlitten auf Holzrollen und den Transport im Eimerkettenverfahren. Wo wurden die einzelnen Transportmethoden eingesetzt?

- 95) **Tierkraft** konnte direkt an der Pyramide nicht eingesetzt werden. Tiere sind aufgrund ihrer Höhenangst und des beengten Raums unkontrollierbar. In einem getakteten Massentransport mit seriell gekoppelten Schleppteams würde bereits das unkontrollierte Verhalten eines einzelnen Tieres ausreichen, um den Transportfluss einer gesamten Spur zu unterbrechen. Deshalb ist Tierkraft unter diesen Bedingungen systemisch ungeeignet. (T)
- 96) Ein **Schleppteam** für einen Block mit 2,1 Tonnen bestand aus 22 Arbeitern. (T)
- 97) Das Schleppteam hatte einen **Bewegungsspielraum** von 20 m inklusive eines Puffers von 6 m. (T)
- 98) Rückwärts gewandt zogen 14 Arbeiter gleichzeitig mit **23,3 kp** bzw. 228 N für 1,2 Sekunden. (P)
- 99) Dabei erzeugten sie eine Bewegung des Schlittens um **25 cm**. (E)
- 100) Dann hatten die Arbeiter 2,4 Sekunden Zeit um sich **neu zu positionieren**. (P)
- 101) Auf diese Weise bewegte sich das Team mit einer **Geschwindigkeit** von 4,17 m/min. (D)
- 102) An den **Ecken** und 10 m davor hatten die Rampen keine Steigung. (T)
- 103) Deshalb mussten die Arbeiter in diesem Bereich nur mit einem Viertel bzw. **26 % der üblichen Kraft** ziehen. (D)
- 104) Daher konnte sich das Team in diesem Bereich **zügiger bewegen**. (D)
- 105) Dadurch wurde die durch das Abbiegemanöver verursachte Verlangsamung ausgeglichen und ein **Stau** an den Ecken verhindert. (D)
- 106) Das **Wendemanöver** ist ähnlich dem Einparken eines Autos. (T)

- 107) Von den Transportspuren wurde immer eine als separater **Rückweg** genutzt. So entstand eine zirkuläre Bewegung ohne Kollisionen. (H)
- 108) Die **Geschwindigkeit** auf dem Rückweg war 5-mal größer als beim Transport bergauf. (P)
- 109) Der **getaktete Massentransport** umfasste 99 % für die stufenförmige Innenpyramide und 0,7 % für die äußere Verkleidung. (D)
- 110) Diese Blöcke hatten ein Gewicht von weniger als 5 Tonnen, weshalb hier der **Transport mit Holzrollen** vorgenommen werden konnte. (D)
- 111) Die großen Blöcke (0,2 %) wurden in den ersten 5 Jahren über die breite Rampe an der Südseite auf die **horizontale Oberfläche** des Pyramidenstumpfs platziert. (T)
- 112) Dort bedeckten sie weniger als **15 % der Oberfläche**. (D)
- 113) Da Holzrollen bei Gewichten über 5 Tonnen brechen können, wurde der Transport der großen Blöcke auf **Holzbalken mit Nilschlamm** gemacht. (T)
- 114) Mittels einer **provisorischen Rampe** von 2 Grad wurden die Blöcke auf die nächst höhere Ebene, welche teilweise bebaut war, gebracht. Dabei mussten die Blöcke weder gedreht noch gewendet werden. (T)
- 115) Dieses Verfahren heißt **Zickzack-Lifting**, da die Anhebung nur mittels Hin- und Herbewegens erfolgt. (P)
- 116) Ab **60 % der Höhe** waren alle großen Blöcke verbaut. (A)
- 117) Daher konnten die großen Blöcke vom Massentransport entkoppelt werden und mussten nicht auf den Außenrampen transportiert werden. Dies waren **Einzeltransporte**. (D)
- 118) Das Aufrichten des **Giebeldachs** an der Nordseite war eine individuelle Aktion. Dies erfolgte mittels kontrollierten Ablassens von Sand und Benutzen von Fangschienen. Dabei wurden die gegenüberliegenden Blöcke an Bossen zusammengebunden, damit sie sich beim Ablassprozess entsprechend aufrichten. (E)
- 119) Die Lehmziegel mit 8 kg für die Rampen wurden nach dem **Eimerketten-Prinzip** transportiert. Diese Methode benötigte keine Rampen und war daher flexibel. (T)
- 120) Diese Methode war 4-mal so effizient wie der Schwertransport mit Schlitten. (D)

Arbeitsbedingungen

Wie viele Stunden wurden pro Woche gearbeitet?

Waren die Arbeitsbedingungen so hart wie in der Sklaverei oder entsprachen sie unseren heutigen humanen Standards?

- 121)** Es gab **300 Arbeitstage** im Jahr. Der Rest waren Feiertage. (H)
- 122)** Gearbeitet wurde in **2 Schichten** pro Tag. (H)
- 123)** Im Sommer ging die **erste Schicht** von 4 bis 10 Uhr und die zweite Schicht von 16 bis 22 Uhr. So wurde vermieden unter großer Hitze zu arbeiten. (P)
- 124)** Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Arbeitszeit von knapp **35 Stunden pro Woche**. (D)
- 125)** Nur die Blöcke der **äußersten Schichten** waren regelmäßig. Der größte Teil der Blöcke war völlig unregelmäßig. (A)
- 126)** Für die **Herstellung eines Blocks** mit 2,1 Tonnen wurden 6 Arbeitstage veranschlagt. (E)
- 127)** Der **Tross** der Schleppteams konnte während einer Schicht nicht angehalten werden.
Die Versorgungsstellen waren lokal und das Wiederanlaufen würde zu lange dauern. (T)
- 128)** Deshalb machten die Arbeiter **rotierende Pausen**. (D)
- 129)** Ein Arbeiter fürs Schleppen musste umgerechnet über **1 Stunde** am Tag mit der Kraft von 23,3 kp bzw. 228 N ziehen. (D)
- 130)** Diese Arbeitslast verbunden mit einer 35 Stundenwoche entsprechen auch nach heutigen Maßstäben **humanen Arbeitsbedingungen**. (E)
- 131)** Die **Arbeiter beim Rampenbau** machten kollektive Pausen, da das Wiederanlaufen rasch war. (T)
- 132)** Pro Schicht gab es 6 Einheiten mit **45 Minuten Arbeit** und 15 Minuten Pause. (T)
- 133)** Beim Massentransport wurden 99 % des Materials bestehend aus Blöcken mit weniger als 5 Tonnen transportiert.
Hätte man für diesen Transport **gleitende Schlitten** genommen, so hätte sich bei gleicher Belastung der Arbeiter die Bauzeit auf 26 Jahre erhöht. Dies entspricht einem Effizienzverlust von 30 % gegenüber der Transportmethode von Schlitten auf Holzrollen. (D)
(Für Details siehe Tabelle 10)

- 134) Deshalb war die Transportmethode von Schlitten auf Holzrollen eine **zwingende Notwendigkeit**, um die Bauzeit von 20 Jahren unter humanen Arbeitsbedingungen zu erreichen. (T)
- 135) Die **Ineffizienz** von gleitenden Schlitten liegt nicht primär an der 2,3-mal höheren Reibung im Vergleich zu Schlitten auf Holzrollen. (D)
- 136) Der erste wichtige Grund liegt an der großen Anzahl der benötigten **Wasserträger**, da sämtliche Schleppteams auf einer Spur kontinuierlich mit Nilschlamm versorgt werden müssen. (D)
- 137) Da sich die Wasserträger 4-mal schneller bewegen als die Schleppteams, kann man folgende Betrachtung machen:
Das 4. Team benötigt 1 Wasserträger, das 8. Team 2 Wasserträger, das 12. Team 3 Wasserträger auf der Spur etc.
Wenn man die Wasserträger für alle Teams addiert, stellt sich heraus, dass die **Anzahl der Wasserträger quadratisch** mit der Anzahl Schleppteams auf einer Spur wächst. (D)
- 138) Die nachfolgende Formel ist eine gute Abschätzung für die **Anzahl Wasserträger** zum Betreiben einer Spur über 2 Schichten pro Tag. Dabei wird mit Y die Nummer der aktuellen Ebene (1-210) des Bauprozesses bezeichnet:
 $20 + Y * Y / 18 \approx$ Wasserträger in Abhängigkeit der Ebene Y.
In der Mitte der Pyramide bei Ebene 105 bestimmt sich die Anzahl der Wasserträger auf 632.
An der Spitze bei Ebene 207 steigt die Anzahl auf 2.401 Wasserträger und hat daher einen Zuwachs um knapp das 4-fache. (D)
(Für Details siehe Tabelle 10)
- 139) Der zweite wichtige Grund liegt darin, dass die Wasserträger sich 4-mal schneller bewegen als die Schleppteams und daher einen eigenen Transportweg benötigen.
Daher müssten die Rampen um 20 % breiter sein, was das **Rampenvolumen um 44 %** erhöhen würde. (D)
- 140) Die ständige Befeuchtung mit Nilschlamm würde auf den Oberflächen der Rampen einen **glitschigen Belag** hinterlassen.
Die barfüßigen Arbeiter würden deshalb ständig ausrutschen und hätten insgesamt unangenehme Arbeitsbedingungen. (E)

Deduktive Rekonstruktion

Warum ist die Produktionsplanung sehr stark von der aktuellen Höhe abhängig?
Warum genügt es nicht, für die Berechnung nur ein einziges Schleppteam zu berücksichtigen?

- 141)** In der Fachliteratur wird üblicherweise ein **einzelnes Schleppteam** als Ausgangspunkt für die Berechnung verwendet. (H)
- 142)** Dies ist jedoch problematisch, da deren angelieferte Menge sehr stark an die Höhe des Baufortschritts **gekoppelt** ist.
Weiterhin sind die Arbeiterzahlen für Schleppen, Produktion und Overhead gekoppelt. (D)
- 143)** Daher muss eine **komplett besetzte Anlieferspur** als kleinste Berechnungseinheit betrachtet werden. (D)
(Für Details siehe Tabelle 2)
- 144)** Mit einer komplett besetzten Spur konnten **146 Blöcke pro Tag** angeliefert werden. (D)
- 145)** Die nachfolgende Formel ist eine gute Abschätzung für die **gesamte Arbeiterzahl** zum Betreiben einer Spur.
Dabei wird mit Y die Nummer der aktuellen Ebene (1-210) des Bauprozesses bezeichnet:
 $1.750 + 26 \cdot Y = \text{Arbeiterzahl in Abhängigkeit der Ebene Y.}$ (D)
(Für Details siehe Tabelle 2)
- 146)** Anhand der Arbeiterzahl pro Spur und der gesamten Arbeiterzahl lässt sich die **Zahl der Anlieferspuren** berechnen.
Die entsprechenden Anlieferspuren zuzüglich eines separaten Rückwegs müssen natürlich physikalisch vorhanden sein. (D)
(Für Details siehe Tabelle 3)
- 147)** Die Zahl der Anlieferspuren ist ein Maß für die **Gesamtleistung** des Systems.
Eine halbe Spur bedeutet hier nicht, dass die Spur die halbe Breite hatte, sondern dass sich nur halb so viele Schleppteams auf der Spur befanden und der Abstand der Schleppteams entsprechend länger war. (D)
- 148)** Die Bauweise erfolgte nach einem durchgehenden und einheitlichen Prinzip und ist **keine Hybridlösung**. (D)
- 149)** Das **einheitliche Bauprinzip** war im Alten Reich üblich. (H)
- 150)** Nur so konnten **Tausende von Arbeitern** an einem Projekt arbeiten. (T)
- 151)** Ziel dieser Theorie ist es einen **Bauprozess mit Massentransport** komplett zu beschreiben und zu analysieren. (P)

152) Sollte es an einigen Stellen des Prozesses **mehrere Möglichkeiten** geben, so ist die effizienteste vorzuziehen. (T)

153) Somit ergibt sich zu den spärlichen archäologischen Funden ein weiterer Leitgedanke und damit eine **zweite Informationsquelle**. Diese Informationsquelle ist das Kriterium der Effizienz entsprechend den technischen und polit-religiösen Gewohnheiten der damaligen Zeit. (T)

Simple Abschätzung der Bauzeit

Wie lässt sich die Bauzeit einer Ebene ermitteln?

Kann man die Bauzeit der Pyramide mittels simpler Berechnungen abschätzen?

154) In dem folgenden **Rechenbeispiel** wird die Bauzeit der Ebene 110 mit simplen, elementaren Rechenmethoden ermittelt. Diese Ebene liegt leicht oberhalb der Pyramidenmitte und kann als guter Durchschnittswert verwendet werden.

Entsprechend der Formel in 145) lässt sich die Zahl der Arbeiter zum Betreiben einer Einzelspur berechnen.

$$1.750 + 26 \cdot 110 = 4.610 \text{ Arbeiter pro Spur.}$$

Außerhalb der Zeit der Nilflut konnten somit

$$10.000 / 4.610 = 2,17 \text{ Spuren}$$

verwendet werden.

Während der Nilflut hätten von der Kapazität der Arbeiter das Doppelte, nämlich 4,34 Spuren betrieben werden können.

Da es jedoch in diesem Stadium physikalisch nur 5 Spuren gab, und eine davon für den Rückweg verwendet wurde, konnten faktisch nur 4 Spuren genutzt werden.

Im Jahresdurchschnitt ergaben sich
 $(9 \cdot 2,17 + 3 \cdot 4) / 12 = 2,63$ Spuren.

Somit konnten pro Arbeitstag

$$144 \cdot 2,63 = 379 \text{ Blöcke}$$

produziert, angeliefert und installiert werden.

Die Ebene 110 besteht aus

$$(210-110) \cdot (210-110) = 10.000 \text{ Blöcken.}$$

Zur Bebauung der Ebene 110 benötigt daher

$$10.000 / 379 = 26,4 \text{ Arbeitstage.}$$

Wenn man diese Bauzeit als Durchschnittsdauer für eine Ebene hernimmt und von 300 Arbeitstagen im Jahr ausgeht, ergibt sich eine Bauzeit der inneren Stufenpyramide inklusive Pyramidion mit

$$210 \cdot 26,4 / 300 = \mathbf{18,48 \text{ Jahren.}} \quad (D)$$

155) Insgesamt ist es mehr als erstaunlich, dass man diese gute Abschätzung auf so einfache Weise erhält.

Als Hilfsmittel benötigt man hierfür keine elektronischen Rechner.

Dafür reicht lediglich ein **Stück Papier**, auf dem man elementare Rechenoperationen ausführen kann. (E)

- 156)** Dies ist ein starkes Indiz dafür, dass diese **Form des Denkens** auch vor 4.500 Jahren problemlos möglich war. (P)
- 157)** Das vorhergehende Beispiel zeigt, dass es beim Bau der Pyramide im mittleren Bereich im Jahresdurchschnitt **2,7 Transportspuren** mit einer Breite von 3,3 m zuzüglich eines separaten Rückweges gab. (D)
- 158)** Dies spricht gegen die Theorie der **Innenrampe** von Jean-Pierre Houdin aus dem Jahr 2003, welche in den oberen zwei Drittel der Pyramide lediglich über eine Transportspur von der Breite von 2,6 m verfügt. Bei dieser geringen Transportkapazität hätte die Bauzeit mehr als 30 Jahre gedauert. (D)
(Für Details siehe Tabelle 6)
- 159)** Mit zunehmender Höhe nimmt das Volumen der einzelnen Ebenen quadratisch ab.
Auf der anderen Seite nimmt mit zunehmender Höhe die Anzahl der Arbeiter zum Schleppen linear zu und die Transportspuren werden linear weniger.
Daher liegen zwei **gegenläufige Phänomene** vor. Aufgrund der quadratischen Abnahme des Volumens der Ebenen nimmt die Bauzeit der einzelnen Ebenen mit der Höhe ab.
- | | | |
|-------|------|--------------------|
| Ebene | 1, | 43,8 Tage Bauzeit, |
| Ebene | 110, | 26,2 Tage Bauzeit, |
| Ebene | 200, | 0,7 Tage Bauzeit. |
- (D)
(Für Details siehe Tabelle 6)

Archäologie

Welche archäologischen Funde und Befunde gibt es hinsichtlich der Cheops-Pyramide?

- 160)** Die Bauzeit von 20 Jahre wurde von den beiden Geschichtsschreibern **Herodot und Diodor** angegeben. (H)
- 161)** Cheops hatte vermutlich eine **Regierungszeit von 23 Jahren**. (H)
- 162)** Für die Bauzeit von 20 Jahren spricht unabhängig, dass Cheops am **Ende des Baus** noch am Leben war. (D)
- 163)** Wäre Cheops vor Vollendung der Pyramide gestorben, dann wäre der Bau wohl **nicht vollendet** worden. (D)
- 164)** Insgesamt sind die 20 Jahre die **längste bekannte Bauzeit** für eine Pyramide. (H)
- 165)** Die **Rote Pyramide** ist das Vorgängermodell der Cheops-Pyramide. Sie ist etwas kleiner und hatte eine Bauzeit zwischen 10 und 11 Jahren. (A)

- 166) Sämtliche Techniken, Ressourcen und Arbeitsgewohnheiten** waren zu diesem Zeitpunkt bekannt. (T)
- 167)** Herodot erwähnt, dass die Pyramide zunächst stufenförmig bzw. treppenartig gebaut wurde. (H)
- 168)** Weiterhin erwähnt Herodot, dass zuerst die **Spitze** gebaut wurde, dann abwärts bis zur untersten Stufe hinunter. (H)
- 169)** Diodor erwähnt, dass es im Alten Reich **keine Hebegeräte** gab. (H)
- 170)** Weiterhin erwähnt Diodor, dass die Steine mittels schräger **Erddämme** transportiert wurden. (H)
- 171)** Das waren flexible **Hebe- und Transportgeräte** im Alten Reich. (A)
- 172)** Um seinen Vater zu übertreffen, hatten die Pyramidenbauer die **größtmögliche Pyramide** innerhalb von 20 Jahren zu erbauen. (P)
- 173)** Um diesen Auftrag zu erfüllen, war es für die Pyramidenbauer zwingend notwendig, an jeder Stelle des Prozesses die **effizienteste Methode** zu wählen. (T)
- 174)** Im Alten Reich war **Effizienz kein Luxus**, sondern eine Notwendigkeit. (T)
- 175)** Herodot beschreibt Arbeitseinsätze von **10 mal 10.000** Arbeitern, was meist als 100.000 Arbeiter angegeben wird. Diese Arbeitseinsätze sollen 3 Monate gedauert haben. (H)
- 176)** Das ist wohl so zu interpretieren, dass während der Nilflut über ganz Ägypten insgesamt **10 Trupps** von jeweils 10.000 Arbeitern gebildet wurden, was etwa einem Drittel der damaligen Landwirte entsprach. (P)
- 177)** **Einer der Trupps** wurde zusätzlich für den Bau der Pyramide herangezogen. (T)
- 178)** Da an der Pyramide die maximale Anzahl der Arbeiter bei 20.000 lag, ist daraus zu schließen, dass in den restlichen 9 Monaten **nur 10.000** Arbeiter tätig waren. (D)
- 179)** Diodor schreibt von der ominösen Zahl von **360.000** Arbeiter. (H)
- 180)** Dies ist aber unmöglich, denn das würde etwa einem **Viertel** der damaligen Bevölkerung über ganz Ägypten entsprechen. (D)
- 181)** Gemeint ist wohl, wenn man die Bauzeit von 20 Jahren nimmt und dazu noch die 10 Jahre zur Errichtung des Aufwegs addiert, kommt man insgesamt auf ein 30-Jahresprojekt. Mit durchschnittlich 12.000 Arbeiter ergibt diese Zahl die **Arbeitsjahre** für das Gesamtprojekt. (T)

- 182) In den Gräbern gibt es einen Fund von einem Bild, auf dem der Transport einer Statue von mindestens 10 Tonnen auf einem **gleitenden Schlitten** dargestellt wird. (A)
- 183) Hierbei handelt es sich um eine politisch-religiöse **Zeremonie**, denn nur religiös motivierte Themen wurden in den Gräbern abgebildet. (H)
- 184) Aus diesem Grund ist es verständlich, warum es keine Abbildungen von **Schlitten auf Holzrollen** in den Gräbern gibt. Die Grabbilder sollten dem Verstorbenen helfen ins Jenseits zu kommen und nicht erklären, warum Rollreibung für den Massentransport besser geeignet ist als Gleitreibung. (D)
- 185) Dies erklärt auch warum es keine **Funde von Schlitten** und Holzrollen in den Gräbern gibt. (D)
- 186) Auch außerhalb der Pyramide gibt es keine archäologischen **Funde von Holzrollen**. (A)
- 187) Dies ist verständlich, da Holzrollen **wertvolle Werkzeuge** waren und nach dem Bau der Pyramiden an anderen Orten weiterverwendet wurden. Selbst wenn die Rollen alt und kaputt gewesen wären, so hätte das Material immer noch als wertvoller Brennstoff gedient. (T)
- 188) Das **Rampenmaterial** wurde parallel mit dem Anbringen der Außenverkleidung abgebaut. (T)
- 189) Da das Rampenmaterial lediglich 6 % bezogen auf das Volumen der Pyramide betrug, konnten 12 % der Arbeiter dies innerhalb von **1,5 Jahren entfernen**. Das Rampenmaterial wurde im Eimerkettenverfahren transportiert, was 4-mal effizienter ist als der Transport der Steinblöcke auf Schlitten. (D)
- 190) Nach dem Anbringen der Außenverkleidung wurde eine **Umfassungsmauer** im Abstand von 10 m um die Pyramide angebracht. Der Bereich zwischen der Pyramide und der Mauer wurde gepflastert. Später gab es eine zweite Umfassungsmauer im Abstand von 20 m, um die umliegenden Mastabas besser abzutrennen. (H)
- 191) Nach Fertigstellung der Pyramide wurde die Umgebung innerhalb von 20 m bearbeitet und bebaut. Das war der Bereich in dem die Spiralrampen auf der Erdoberfläche aufgelegt sind. Deshalb ist es heute völlig unmöglich in diesem Bereich **Reste von Lehmziegeln** und Pflanzenmaterial zu finden. Sollten einzelne Reste von Kalksteinen gefunden werden, so ist es unmöglich zu begründen, ob diese Reste einer Rampe sind oder nicht. (T)
- 192) In unmittelbarer Nähe der südlichen Steinbrüche befinden sich **Funde von Rampenresten** mit einem Winkel von etwa 7 Grad, die in Richtung der südwestlichen Ecke der Pyramide zeigen. (A)

- 193)** Über 20 Jahre hinweg wurden insgesamt 6,9 Millionen Tonnen an Gestein von den Steinbrüchen bis zur Pyramide transportiert. Deshalb war es aus Effizienzgründen zwingend notwendig, hier einen **massiven Transportweg** zu errichten, welche auch geringe Höhenunterschiede zu überwinden hatte. (T)
- 194)** Der Transportweg hatte auch als **Zwischenlager** gedient, denn in der Anfangsphase wurden bis zu 1.600 Blöcke pro Tag verbaut. Obwohl der getaktete Transport erst mit den Rampen an der Pyramide begann, musste jederzeit eine kontinuierliche Materialversorgung sichergestellt werden, um Ausfallzeiten zu vermeiden. (T)
- 195)** Mark Lehner interpretierte die Funde in den südlichen Steinbrüchen als Überreste einer **Großrampe**, die zur Pyramide führte. Diese hätte eine Länge von ca. 320 m und ein Volumen von 9 % bezogen auf das Pyramidenvolumen. Jean-Pierre Houdin hat diese Theorie in seiner Tunneltheorie übernommen. (H)
- 196)** Wenn diese Großrampe existiert hätte, dann hätte man größere Funde machen müssen. Insgesamt handelt es sich hier um keinen archäologischen Beweis, sondern um eine **Interpretation**, die der Effizienz und dem einheitlichen Bauprinzip widersprechen. (D)

Archäologischer Check der Multispiral-Rampen

Sprechen die wenigen Funde und Befunde für oder gegen die Multispiral-Rampen?

- 197)** Das Erklärungsmodell der Multispiral-Rampen deckt sich mit den wenigen Funden und Befunden und ist deshalb **archäologisch neutral**. (D)
- 198)** Die Theorie verwendet nur **Techniken** die im Alten Reich bekannt waren. (H)
- 199)** Das Rampenmaterial von 6 % musste beim Anbringen der Außenverkleidung komplett abgebaut werden. Deshalb kann es hier **keine archäologischen Reste** geben. (T)
- 200)** Das **Fehlen großflächiger Rampenreste** spricht gegen klassische Großrampen, aber für temporäre, kleinere Rampen mit Recycling. (D)
- 201)** Dies spricht insbesondere gegen eine **gerade Außenrampe**, welche bei einem Winkel von 6,6 Grad eine Länge von 1,3 km und ein Volumen von 160 % vom Pyramidenvolumen gehabt hätte. (D)
- 202)** Spiralarmpen lagen auf den Stufen der inneren Stufenpyramide flächig auf. Die Rampen dienten nicht nur als Stütze, sondern auch als mechanischer Puffer. Damit entstanden keine Punktlasten und damit auch keine **Verformungen des Untergrunds**. (T)

- 203) Abnutzungerscheinungen** hätte es allenfalls an der Grenzlinie zwischen Rampe und Pyramide durch seitliche Stöße während des Transports geben können. (T)
- 204)** Das Erklärungsmodell der Multispiral-Rampen benutzt als **Argumentationskriterium** nur das geschlossene und konsistente Funktionieren des Gesamtprozesses, wobei an jeder Stelle auf Optimierung der Effizienz geachtet wird. (T)
- 205) Archäologische Kriterien** werden nur zur Prüfung der Konsistenz bzw. Falsifikation herangezogen, nie als Beweismittel für die Theorie verwendet. (D)
- 206)** Archäologen haben künftig die Möglichkeit, diese Theorie zu prüfen bzw. zu **falsifizieren**.
An den Stellen der Pyramide wo es Rampen gab, müsste die Konzentration von Resten von getrocknetem Ziegel zwischen den Fugen der Steinblöcke deutlich höher sein als an Stellen, wo es keine Rampen gab. (A)
- 207)** Speziell an der **Südseite**, wo es eine breite Rampe über einen längeren Zeitraum gab, müssten seitliche Abnutzungsspuren und evtl. Verfärbungen vorhanden sein. (A)
- 208)** An der **Mykerinos-Pyramide** sind die unteren 15 m der Außenverkleidung noch erhalten. Aus der Größe der Steine ist zu schließen, dass die nur von unten nach oben verbaut werden konnten. (A)
- 209)** An der Cheops-Pyramide sind im **untersten Bereich** wenige Steine von der Außenverkleidung erhalten. Aus der Größe der Steine ist zu schließen, dass die von unten nach oben verbaut wurden. (A)
- 210)** Insgesamt stellt sich die Frage, warum es außer dem Bauwerk selbst **fast keine archäologischen Funde gibt**, mit denen die Bauweise der Pyramide erklärt werden können. (P)
- 211)** In den Entlastungskammern oberhalb der Königskammer befinden sich **Graffiti** von Bauarbeitern, welche Aussagen wie „Freunde des Cheops“ enthalten. (A)
- 212)** Ursprünglich war dieser Ort geschlossen und **unzugänglich**. Vor fast 200 Jahren haben sich die Beteiligten gewaltsam Zutritt verschafft. (H)
- 213)** Im Jahr 2013 wurden am Roten Meer, etwa 250 km von Gizeh entfernt, **Dokumente aus Papyrus** gefunden. (A)
- 214)** Eines der Dokumente ist eine **Stückliste** zum Bau der Cheops-Pyramide. Dies ist ein klares Indiz dafür, dass das Bauprojekt von der Struktur her einem heutigen Großkonzern ähnelt, jedoch mit den Techniken der damaligen Zeit. (D)

- 215) Von den **beiden einzigen Funde** war einer an einem unzugänglichen Ort und der andere sehr weit weg von Pyramide. (A)
- 216) Die beiden Geschichtsschreiber Herodot und Diodor erhielten ihre Informationen mehr als **2.000 Jahre später** nur durch mündliche Überlieferungen. (H)
- 217) Daraus lässt sich schließen, dass die **Zunft der Pyramidenbauer** eine hohe Kaste war und ihr gesamtes Wissen streng unter sich behielt. (D)
- 218) Deshalb sorgten sie dafür, dass **keine dauerhaften Dokumente** oder Spuren erhalten blieben. (D)

Schlussfolgerung

*Wie sind die bisherigen Ergebnisse zu interpretieren?
Gibt es Konsequenzen aus dem Erklärungsmodell, welche künftig archäologische Überprüfungen ermöglichen?*

- 219) Trotz des monumentalen Baus gibt es nur **spärliche archäologische Funde und Befunde**, die auf seine Bauweise hindeuten. (A)
- 220) Da sich der Pyramidenbau im Laufe von 300 Jahren entwickelt und verändert hat, sind die **Funde an anderen Pyramiden** wenig hilfreich. (D)
- 221) Der Archäologe Dieter Arnold äußerte im Jahr 1981:
*„Wie die ägyptischen Bauleute sich behalfen, lässt sich **nicht mehr erschließen**. Dass es ihnen jedoch gelang, das Problem zu lösen, demonstrieren die Beispiele der Cheops- und der Chephrenpyramide.“* (H)
- 222) Als einzige Möglichkeit, um hier weiter zu kommen, ist dass man sich in die Situation der **obersten Bauleiter** versetzt.
Diese mussten ein perfektes Mammutobjekt innerhalb von 20 Jahren errichten. Das Scheitern wäre die größte Katastrophe für den Pharao gewesen und hätte die härtesten Strafen für die Bauleiter nach sich gezogen. (P)
- 223) Vor diesem Hintergrund war es mehr als zwingend, dass die Bauleiter sich für die sicherste und **effizienteste Baumethode** entschieden haben. (T)
- 224) Damit entsteht eine **zweite Informationsquelle**, die an jeder Stelle eine Entscheidung zwangsläufig macht. (D)
- 225) Damit lässt sich ein **rekonstruierter Bauplan** mittels der größtmöglichen Effizienz erstellen. (D)
- 226) Insgesamt entsteht damit ein **komplettes, rationales Erklärungsmodell** zur Bauweise der Pyramide. (D)

- 227) Das ist aber auch das **Maximum**, was man zu diesem Zeitpunkt erwarten kann. (D)
- 228) Das Erklärungsmodell liefert eine Überprüfungsmethode an die Archäologie, dass sie künftig nach Rampenspuren zwischen den äußeren Steinblöcken sucht.
Damit kann diese Theorie **archäologisch bestätigt oder falsifiziert** werden. (A)
- 229) Wendet man die Berechnungsmethode die Cheops-Pyramide auf die **Rote Pyramide** an, so ergibt sich eine Bauzeit von 12 Jahren.
Dies entspricht in etwa dem Ergebnis von Rolf Krauss und John Romer, die anhand von Graffiti, die die Bauphasen darstellen, eine Bauzeit zwischen 10 und 11 Jahren ermittelten. (P)

Historische Einordnung

Die nachfolgenden Punkte sind nicht Bestandteil der deduktiven Begründung dieses Modells und dienen ausschließlich der historischen Einordnung.

- 230) Im Jahr 1912 publizierte **Uvo Hölscher** einen Vorschlag, bei dem seitliche Rampen auf der inneren Stufenpyramide aufgesetzt werden und sich spiralförmig nach oben winden. (H)
- 231) Im Jahr 1956 publizierte **Dows Dunham** ein Modell, bei dem an jedem der 4 Ecken der Pyramide eine Rampe startete. (H)
- 232) Die Arbeit entstand **interdisziplinär** in Zusammenarbeit mit Walter Vose, einem Professor für Ingenieurwissenschaften. Das Ergebnis wurde im Rahmen einer Ausstellung gezeigt, jedoch nicht weiterentwickelt. (H)
- 233) Diese **innovative Arbeit** konnte sich nicht durchsetzen aufgrund der beiden folgenden Einwände:
- Die großen Blöcke können auf den schmalen Rampen nicht transportiert werden, (Punkte 109-115)
 - An den Ecken der Rampen kommt es zu Staubbildung, (Punkte 102-106) (H)
- 234) Die folgenden drei **Interpretationen** waren in der Forschung weit verbreitet. Deshalb haben sie den Rahmen der Diskussion in der Vergangenheit maßgeblich geprägt, was die Entwicklung eines konsistenten logistischen Gesamtmodells erschwerte:
- Die äußere Verkleidung wurde parallel zur inneren Stufenpyramide angebracht (Goyon, Lehner, Houdin), (Punkte 208-209)
 - Eine äußere Rampe führte von den Steinbrüchen zur Pyramide (Lehner, Houdin), (Punkte 192, 195)
 - Transport mit gleitenden Schlitten ist archäologisch zwingend, (Punkte 182-183). (P)