

Bau der Cheops-Pyramide mittels Multispiral-Rampen

Rudolf Volz
mail@rudolfvolz.de

Vorabversion, nur Einleitung

Veröffentlicht im Journal of Humanistic Mathematics,
Claremont Colleges, Kalifornien ^[0] ^[1]

Revidiert von John Angus (CGU)

Editiert von Mark Huber (CMC)

Publiziert am 17. April 2024

1. Über dieses Werk



Bild 1 - Die Pyramiden von Gizeh ^[2]

Die Cheops-Pyramide gilt als Grabmal des Pharaos Cheops, dessen ägyptischer Name Khufu ist. Die Pyramide wurde im 26. Jahrhundert v. Chr. erbaut und ist die älteste der drei Pyramiden von Gizeh.

Mit einem Gewicht von fast 7 Millionen Tonnen ist sie die größte ägyptische Pyramide und wird daher auch als die Große Pyramide bezeichnet. ^[2]

Die Cheops-Pyramide ist das älteste der sieben Weltwunder der Antike und das einzige, das noch gut erhalten ist. ^[4] ^[5] ^[6]

Obwohl die Große Pyramide eines der beeindruckendsten Bauwerke der Menschheit ist, gibt es fast keine Dokumente oder archäologischen Funde, die auf dessen Bautechnik hinweisen. Wie gelang es den Ägyptern im Alten Reich diese Pyramide zu bauen? ^[3]

0. Originaltitel: Building The Cheops Pyramid Through Multispiral Ramps

1. <https://scholarship.claremont.edu/jhm/>

2. Mit freundlicher Genehmigung von Mozaik Education Ltd.

<https://www.mozaweb.com/en/search?search=egyptian+pyramids&view=grid&sort=grouped>

3. https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Pyramid_of_Giza

4. https://en.wikipedia.org/wiki/Seven_Wonders_of_the_Ancient_World

5. Mark Lehner and Zahi Hawass, Giza and the Pyramids, The University of Chicago Press, 2017, Side 143

6. <https://www.pyramid-of-giza.com/the-great-pyramid-of-giza-pyramid-of-khufu/>



Bild 2 - Landkarte von Ägypten^[7]

Herodot war der erste Autor, der die Pyramiden erwähnte. Das war um 450 v. Chr., mehr als 2000 Jahre nach der Errichtung des Monuments. Er erhielt seine Informationen von ägyptischen Priestern und manche seiner Schriften scheinen nicht sehr zuverlässig. Diese Aussagen kann man als sehr wahrscheinlich betrachten:^{[8] [9] [10]}

- a1) Die **Bauzeit** der Cheops-Pyramide betrug 20 Jahre.
- a2) In den ersten 10 Jahren wurde ein breiter **Aufweg** (Causeway) gebaut. Dieser war fast 1 Kilometer lang und 18,3 m breit. Er bestand aus poliertem Stein und an den Seiten waren Figuren eingemeißelt.
- a3) Zur Verringerung der Gleitreibung bestanden die Arbeitswege teilweise aus geglättetem Kalkstein.
- a4) Die Fertigstellung der Außenverkleidung erfolgte von der Spitze zur Basis der Pyramide.
- a5) Die **Arbeiter** dienten in 3-Monats-Schichten.

Diodor besuchte Ägypten um 60 v. Chr. und seine Schriften scheinen zuverlässiger zu sein:^[9]

- b1) Diodor stimmt über die Bauzeit von 20 Jahren mit Herodot überein.
- b2) Die Pyramide wurde mit Hilfe von **Rampen** gebaut.
- b3) Die Rampen wurden nach Fertigstellung der Pyramide entfernt.
- b4) **Hebwerkzeuge** waren zum Zeitpunkt des Baus der Pyramiden noch nicht erfunden.
- b5) Die **Verkleidung** der Pyramide war bei seinem Besuch noch in ausgezeichnetem Zustand, jedoch hatte sich im obersten Teil der Pyramide eine 3,1 m breite Plattform gebildet.
- b6) Die Anzahl der **Arbeiter** schätzte er auf 360 Tausend.
- b7) Cheops wurde nicht in der Pyramide, sondern an einem geheimen Ort begraben.

Bisher wurden viele Versuche unternommen das **Transportproblem** zu erklären. Wie konnte eine solch große Masse an Steinen in so kurzer Zeit transportiert und positioniert werden? Es wurden viele Baumethoden vorgeschlagen, jedoch konnte keine davon das Problem zufriedenstellend lösen.^{[10] [11] [12]}

Deshalb ist viel Raum für Spekulationen geboten. Das geht sogar so weit zu behaupten, dass die Pyramiden von Außerirdischen gebaut wurden. Dies hatte einer der reichsten Männer der Welt im Jahr 2020 öffentlich bekräftigt.^{[13] [14]}

7. <https://de.123rf.com/#30823347>, modifizierte Landkarte

8. https://en.wikipedia.org/wiki/Herodotus#Author_and_orator

9. https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Pyramid_of_Giza

10. Frank Müller-Römer, Der Bau der Pyramiden im Alten Ägypten, Herbert Utz Verlag, 2011, Chapter 7

11. Frank Müller-Römer, Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden, 2007

https://edoc.ub.uni-muenchen.de/8064/1/mueller-roemer_frank.pdf

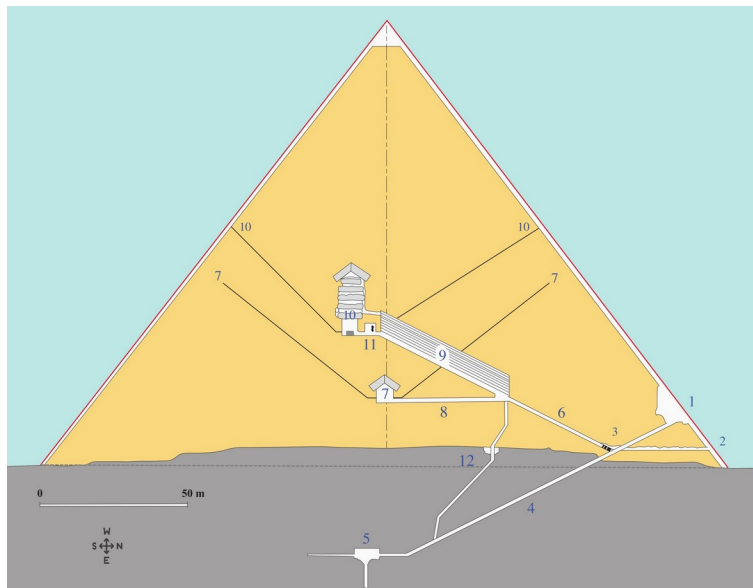
12. <https://cheops-pyramide.ch/pyramid-building.html>

13. <https://en.wikipedia.org/wiki/Pyramidology>

14. <https://www.stern.de/panorama/wissen/elon-musk-verbreitet-irre-pyramiden-these-und-wird-von-aegyptischer-regierung-zurechtgewiesen--9361356.html>

Die Pyramide hat folgende Eigenschaften: ^{[15][16]}

- c1) Länge von 230,33 m auf jeder Seite.
- c2) Höhe von 146,59 m.
- c3) Es gibt 210 Ebenen mit etwa 2,3 Millionen Steinblöcken.
- c4) Etwa 130 Granitblöcke mit einem Gewicht von bis zu 80 Tonnen wurden auf eine Höhe von 70 m transportiert.
- c5) Etwa 9 Blöcke bis 400 Tonnen wurden auf eine Höhe von 85 m transportiert.
- c6) Die Konstruktion wurde mit sehr hoher Präzision durchgeführt.
- c7) Außerhalb der Pyramide wurden fast keine Reste gefunden.
- c8) Die Pyramide erlitt durch drei schwere Erdbeben fast keine Schäden.



1. Ursprünglicher Eingang Nord-Korridor
2. Räuber-Tunnel, Touristen-Eingang
- 3, 4. Absteigender Korridor
5. Felsenkammer
6. Aufsteigender Korridor
7. Königinnenkammer mit „Luftschächten“
8. Horizontaler Gang
9. Große Galerie
10. Königskammer mit „Luftschächten“
11. Korridor zur Sarkophag-Kammer und Blockierstein-Kammer
12. Luft- oder Fluchtschacht mit „Grotte“

Bild 3 - Querschnitt der Cheops-Pyramide von der Ostseite ^[17]

Einer der ersten Vorschläge bestand darin, eine [senkrechte Frontalrampe](#) zu schaffen. Bei einem Neigungswinkel von 6,6 Grad hätte diese eine Länge von 1,2 km und ein Volumen von 135 % bezogen auf die Pyramide. Da die beiden benachbarten Pyramiden zu diesem Zeitpunkt noch nicht existierten, könnte die Rampe so ausgesehen haben wie in Bild 4 dargestellt. Dies ist vermutlich die einzige Möglichkeit, eine solche Rampe in dieser Landschaft zu platzieren. Es würde mehr als 10 Jahre dauern um diese Rampe zu entfernen, und daher ist es unmöglich, dieses Monument innerhalb von 20 Jahren fertigzustellen. Würde es diese kritische Zeitbegrenzung nicht geben, dann würde die senkrechte Frontalrampe seit langem als Lösung des Problems betrachtet werden.

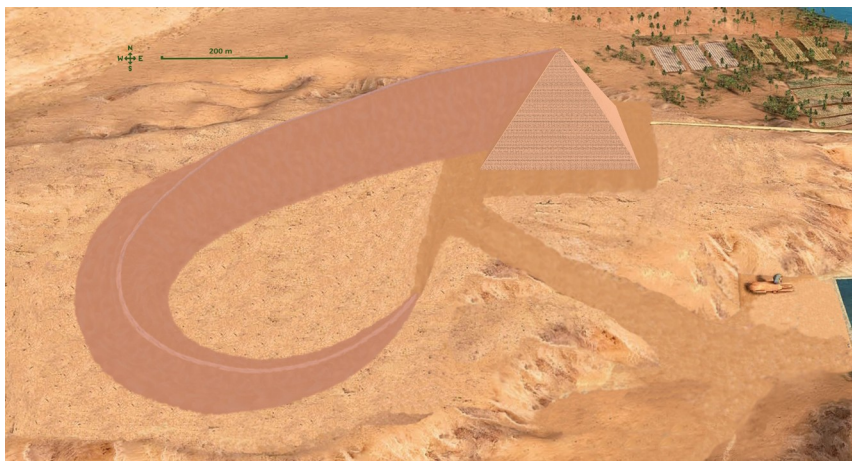


Bild 4 - Senkrechte Frontalrampe ^[18]

15. https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Pyramid_of_Giza
16. <https://en.wikiarquitectura.com/building/great-pyramid-of-cheops/>
17. <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Cheops-Pyramid.svg>
18. Hintergrundbild von <https://www.mozaweb.com>

Diese Arbeit verfolgt das Ziel, eine mögliche Bauweise der Pyramide neu zu entdecken. Dies geschieht nicht nur durch Andeutung einer Methode, sondern durch eine detaillierte [Bauprojektierung](#). Dabei wird darauf geachtet, nur gewohnheitsmäßige Techniken zur damaligen Zeit zu verwenden.

Das sind die wesentlichen Annahmen und Voraussetzungen für das Projekt:

- d1) Die Rampen wurden aus getrockneten Ziegeln hergestellt.
- d2) Der [Winkel](#) der Rampen beträgt 6,6 Grad.
- d3) Die Steinblöcke wurden auf [Holzrollen](#) transportiert.
- d4) Transport der Steinblöcke mit [Arbeitern](#) und nicht mit Ochsen.
- d5) Die Transportgeschwindigkeit war 2,5 m/min.
Damit konnte pro Transportbahn alle 5 Minuten ein Block angeliefert werden.
- d6) Die Arbeiter eines [Teams](#) zogen zeitgleich für 1 Sekunde mit einer Kraft von jeweils 40 kp. Dann hatten sie 4 Sekunden Zeit, um das nächste Ziehen vorzubereiten.
- d7) Während der Nilflut über 99 Tage gab es 20 Tausend [Arbeiter](#), in der restlichen Zeit nur 10 Tausend Arbeiter.
- d8) Ein Arbeitstag bestand aus zwei Schichten zu je 6,5 Stunden.
- d9) Pro Jahr gab es 300 Arbeitstage.

Dies sind die wichtigsten Ergebnisse:

- e1) Der grüne Hauptpfad führt bis zur Spitze der Pyramide.
- e2) Die restlichen [6 Einzelpfade](#) enden auf unterschiedlichen Höhen. Die Enden sind mit roter Farbe markiert.
- e3) Das [Rampenvolumen](#) benötigt nur 8,4% Material bezogen auf das Pyramidenvolumen. Die vielen Einzelpfade benötigen viel [weniger Material](#) als ein einzelner breiter Pfad.
- e4) Ein [Pyramidion](#) mit einer Breite von 3,25 m, einer Höhe von 2,1 m und einem Gewicht von 20 Tonnen konnte problemlos aufgesetzt werden.
- e5) Die [Ummantelung](#) wurde von oben nach unten angebracht. Gleichzeitig wurden die entsprechenden Rampen entfernt.
- e6) Die [Bauzeit](#) der Pyramide betrug fast genau 20 Jahre.
- e7) Der Bau der Pyramide erforderte 250 Tausend [Arbeitsjahre](#). ??
- e8) Die Anforderungen und Ergebnisse stimmen mit den Berichten von Herodot a1) – a5) und Diodor b1) – b7) überein.

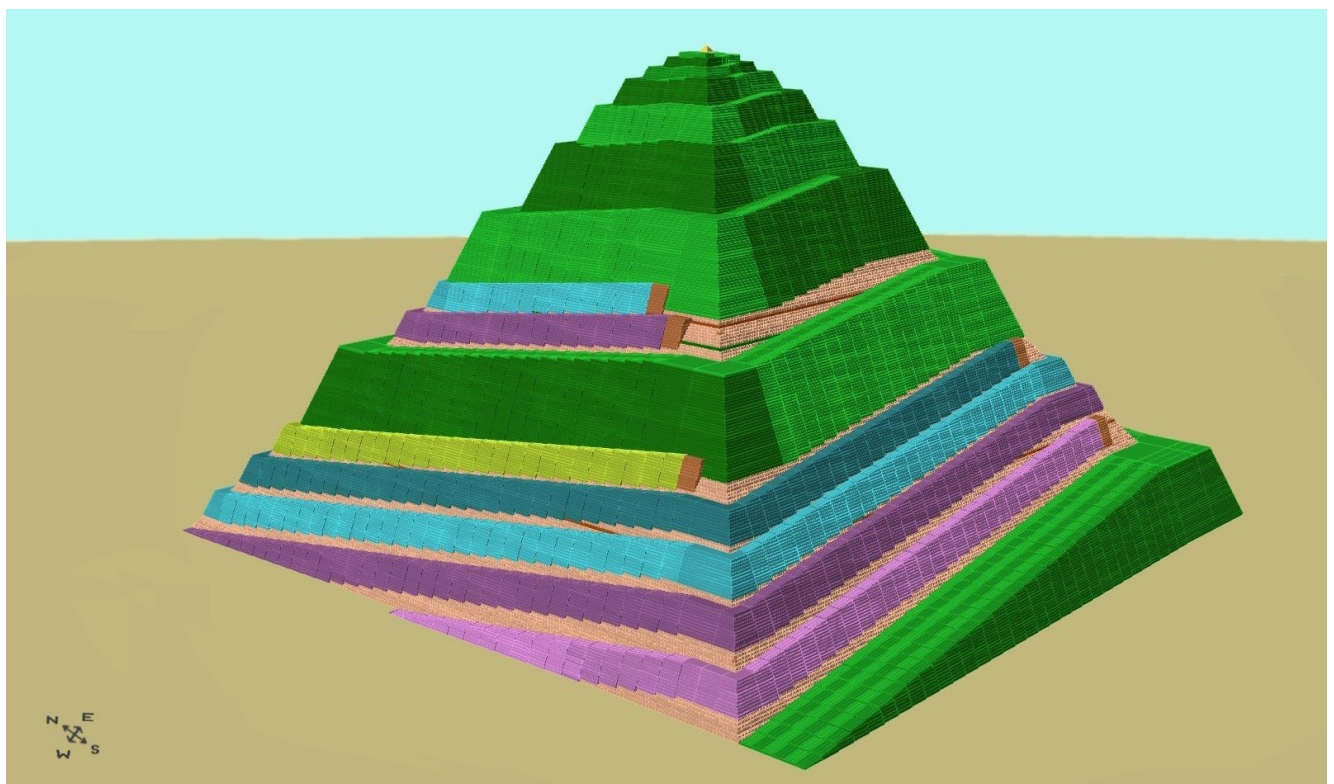


Bild 5 - Multispiral-Rampen von der Südwest-Seite aus gesehen

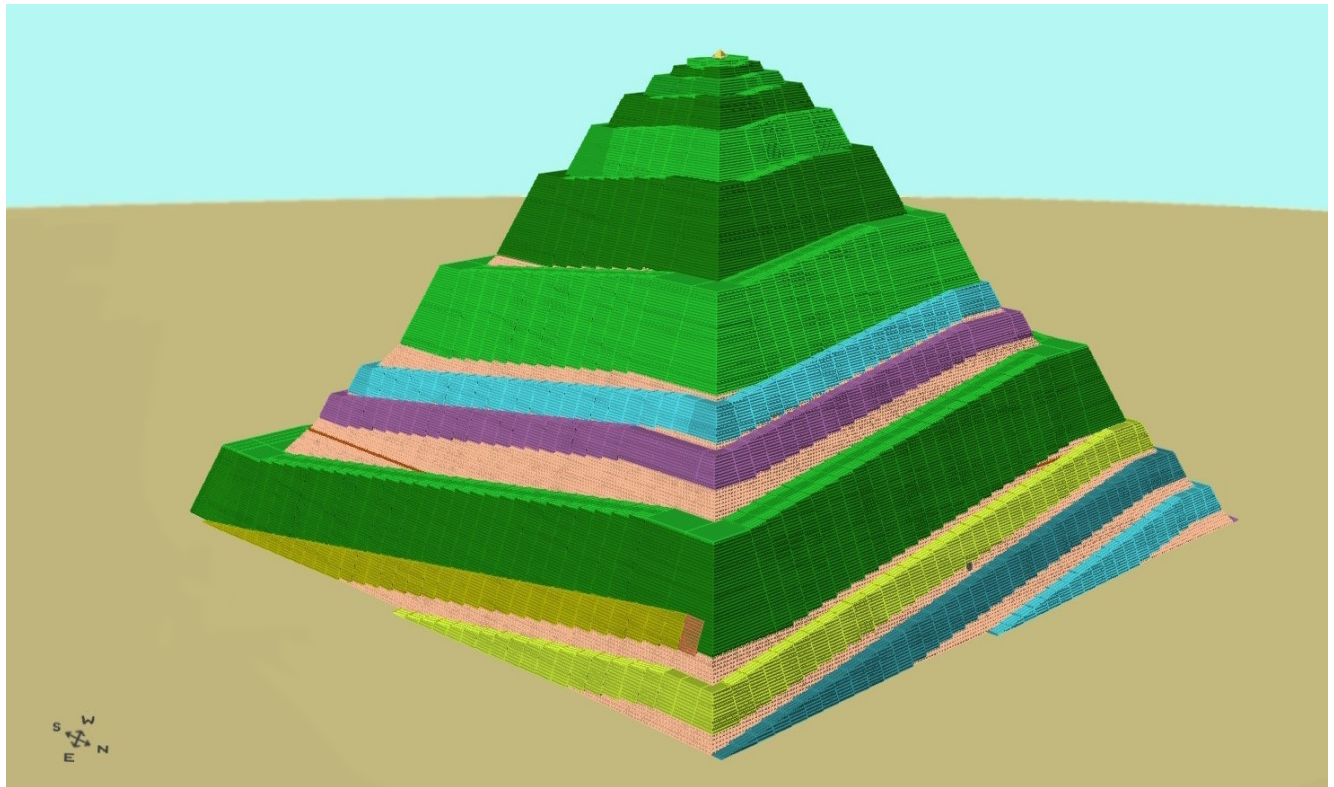


Bild 6 - Multispiral-Rampen von der Nordost-Seite aus gesehen ^[19]

Der grüne Hauptpfad führt bis zur Spitze der Pyramide. Mit jeder Umdrehung wechselt die Farbe zwischen hell und dunkel, um die 8,5 Umdrehungen zu verdeutlichen. An jeweils 3 Seiten starten 2 Einzelpfade mit jeweils einer Spur. Alle Pfade sind in unterschiedlichen Farben dargestellt, damit man ihren Verlauf besser verfolgen kann. Durch die Farbenpracht ähnelt das Objekt einem quadratischen Party-Hut mit einem Juwel oben drauf. Das [tatsächliche Erscheinungsbild](#) war jedoch weit weniger beeindruckend, da der Wüstensand, die Kalksteine und die Ziegel der Rampen alle eine ähnlich gelblich-braune Farbe hatten.

Aufgrund des konkreten Planungs-Modells sind genaue Berechnungen möglich:

- f1) Für eine bestimmte Ebene kann die Anzahl der Blöcke ermittelt werden.
- f2) Anhand des Modells lässt sich ermitteln, wieviel Anlieferungsspuren zu dieser Ebene führen. Pro Anlieferungsspur und Arbeitstag können 156 Blöcke angeliefert werden.
- f3) Ermittlung der Anzahl der [Schleppteams](#) die sich auf einer Anlieferungsspur befinden. Die Schleppteams haben einen Abstand von 12,5 m was einem Höhenunterschied von 2 Ebenen entspricht.
- f4) Aufteilung der zur Verfügung stehenden [Arbeiter](#) in Schleppen und Produzieren.
- f5) Durch Summation der einzelnen Anlieferungsspuren lässt sich die Anzahl der angelieferten Blöcke pro Arbeitstag berechnen.
- f6) Für jede Ebene kann daher die genaue Bauzeit berechnet werden.
- f7) Durch Summation über die 210 Ebenen kann somit die Gesamtbauzeit des Projektes ermittelt werden.

Die Idee von [parallel](#) zur Pyramide verlaufenden Rampen wurde erstmals von Uvo Hölscher im Jahr 1912 und von E. Landt im Jahr 1923 erwähnt. ^{[20] [21]}

Georges Goyon publizierte im Jahr 1977 seinen Vorschlag mit einer [einzigsten Spiral-Rampe](#), welche die komplette Pyramide umhüllt. Dies ist der bisher meist diskutierte Vorschlag.

19. Sämtliche dreidimensionalen CAD-Modelle wurden von Rudolf Höld erstellt.

20. Uvo Hölscher, Das Grabdenkmal des Königs Chephren, Veröffentlichungen der Ernst von Sieglin Expedition in Ägypten I. Leipzig, 1912, https://gizamedia.rc.fas.harvard.edu/documents/holscher_chephren.pdf

21. E. Landt, Ein neuer Kampf um die Cheops-Pyramide, Weidmannsche Buchhandlung, Berlin, 1923

Im Jahr 1998 unterbreiteten Klemm und Klemm ihren Vorschlag zur [Integralrampe](#). Dabei gibt es zwei unterschiedliche Rampenpfade, die an gegenüberliegenden Seiten der Pyramide starten. ^[22]

Die Grundidee zur Theorie der [Multispiral-Rampen](#) wurde schon von Nikolaus Willburger im Jahr 2002 publiziert. Dabei wird der Begriff „Funktionsrampe“ verwendet. Das Aufsetzen des Pyramidions wird im Detail beschrieben, jedoch wird der Bau des unteren Teils der Pyramide nur kurz angedeutet. Entsprechend dem Titel „Theoretische Überlegungen“ fehlen die detaillierten Ausarbeitungen und Berechnungen. ^[23]

Diese Arbeit enthält die Grundideen zur Lösung des Problems und wurde in dem zentralen Buch zum Bau der Pyramiden als „zielführender Ansatz“ bewertet. ^[24]

Es ist daher sehr verwunderlich, warum diese Arbeit innerhalb von 20 Jahren nur wenig Beachtung fand, und niemand versucht hat, diese Ideen weiter zu entwickeln.

Die vorliegende Arbeit wurde unabhängig davon entwickelt. Der Anstoß dazu kam am 17. Oktober 2021, unmittelbar nachdem Volz eine Sendung über „die ungelösten Rätsel der ägyptischen Pyramiden“ gesehen hatte. ^[25]

Der Zeitpunkt der Publikation ist somit der 30. Monat seit Beginn des Projekts.

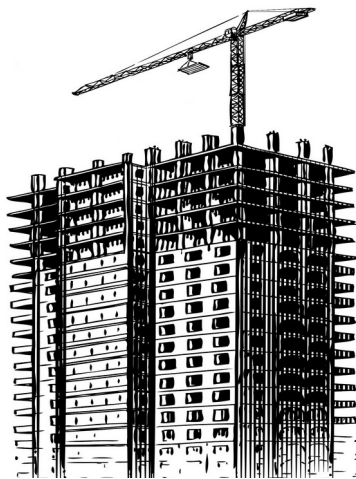


Bild 7 - Kletterkran ^[26]

Das Entscheidende aus dieser Sendung war das große Volumen an Rampenmaterial, welches man in der vorgegebenen Bauzeit von 20 Jahren nicht hätte entfernen können.

Deshalb musste eine Methode gefunden werden, wie man das Rampenmaterial minimieren kann.

Da kam sofort der Blitzgedanke des Kletterkrans. Der steht nicht auf einem eigenständigen Turm, sondern setzt sich auf das vorhandene Gebäude oben drauf und wächst mit ihm in die Höhe.

Für den Bau der Pyramide bedeutet dies, dass die Rampen auf dem bereits erbauten Pyramidenstumpf aufgesetzt werden müssen.



Bild 8 - Modell mit 400 Bauklötzchen

Im nächsten Schritt wurde ein kleines Modell mit 400 Bauklötzchen angefertigt. Durch etwas Probieren wurde schnell klar, wie man die Rampen auf der Stufenpyramide aufsetzen und den Bauprozess simulieren kann. Selbst das Aufsetzen des Pyramidions war nach Beendigung des Bottom-Up-Prozesses möglich. Im anschließenden Top-Down-Prozess wurde die weiße Verkleidung angebracht und parallel die Rampen entfernt.

22. Frank Müller-Römer, Der Bau der Pyramiden im Alten Ägypten, Herbert Utz Verlag, 2011, Kapitel 7.4.3

23. Nikolaus Willburger, Die Technik des Pyramidenbaus zu GIZA, Theoretische Überlegungen zu „Funktionsrampen“ beim Bau der Pyramiden, 2002. <https://www.archaeologie-online.de/artikel/2002/die-technik-des-pyramidenbaus-von-giza/>

24. Frank Müller-Römer, Der Bau der Pyramiden im Alten Ägypten, Herbert Utz Verlag, 2011, Kapitel 7.4.9

25. <https://www.youtube.com/watch?v=03mJcLCSaVM>

26. Alamy, HNPW42

Der erste und entscheidende Schritt kam völlig unerwartet aus der Berechnung des Volumens paralleler Rampen:

- g1) Das Volumen einer [parallelen Rampe](#) wächst quadratisch mit der Breite des Pfades. Einfach ausgedrückt bedeutet das, wenn man die Breite eines Pfades verdoppelt, dann verdoppelt sich nicht, sondern vervierfacht sich das Rampenmaterial.

Diese fundamentale Erkenntnis konnte bisher in der Literatur nicht entdeckt werden. Um das Rampenmaterial zu minimieren, muss das Rampen-Modell aus möglichst vielen Einzelspuren mit minimaler Breite bestehen. Das ist die Basis der Theorie der Multispiral-Rampen.

Der zweite entscheidende Schritt war der Entwurf eines [Systems von Rampen](#) basierend auf diesem Grundsatz. Dabei wurde eine architektonische Baukonstruktion gleichzeitig von allen 4 Seiten der Pyramide entwickelt. Damit war ein konkretes Rampen-System bzw. ein Modell vorhanden.

Damit hatte sich ein Vorhang in eine neue Welt geöffnet. Von jeder Ebene der Pyramide konnte man nun genau bestimmen, wie viele Anlieferungswege dort hinführen. Damit lässt sich die Anzahl der Arbeitskräfte und die Bauzeit berechnen. Das war der Sprung von der Andeutung eines Prinzips zu genauen Berechnungen.

Die Entwicklung des Rampen-System erfolgte in zweimonatiger Arbeit im Frühjahr 2022. Das war genau 200 Jahre später als Jean-François Champollion die ägyptischen Hieroglyphen entzifferte.^[27]

Die nachfolgenden Punkte sind essenziell für den Bauprozess und unterscheiden sich von den meisten anderen [Theorien](#):

- g2) Die Rampen werden auf den [Stufen](#) der inneren Stufenpyramide aufgesetzt. Die Rampen liegen auf einem waagrechten Untergrund und haben einen stabilen Halt. Auch das Anbringen von Seitenflanken zur zusätzlichen Stabilisierung ist möglich. Das Aufsetzen der Rampen auf den glatten Außenverkleidung ist völlig instabil und erzeugt [Lawinengefahr](#).
- g3) Der Transport erfolgt über [Rollen](#) und ohne Schlitten. Dies setzt voraus, dass die Blöcke bei Anlieferung schon glattpoliert sind, und die Oberflächen der Rampen ständig geglättet werden. Die Rollreibung benötigt nur ein Sechstel der Kraft der Gleitreibung. Zur Reduzierung der Gleitreibung muss man ständig Wasser auf die Holzbalken gießen. Dazu würde man einen immensen Wassertransport benötigen und die barfüßigen Arbeiter würden auf dem nassen Untergrund ständig ausrutschen.
- g4) Keine Ochsen auf der Pyramide. Im Alten Ägypten sind Ochsen als Zugtiere bekannt. Die hätte man einsetzen können, um die Blöcke von den Steinbrüchen oder dem Vorbereitungslager bis zur Pyramide zu transportieren. Im Bereich der Pyramide musste alles im genauen Takt laufen. Da herrschten dieselben Gesetze wie heutzutage an einem Fließband bei einem Großkonzern. Da musste alles unter hundertprozentiger Kontrolle stehen. Ein Ochse mit plötzlicher Höhenangst würde eine komplette Anlieferungsspur blockieren.
- g5) Zur Vermeidung von [Staus](#) an den Ecken sind die Rampen-Oberflächen vor den Ecken horizontal gehalten. Über mindestens 12 m Länge erfolgt keine Steigung, um in diesem Bereich die Transportgeschwindigkeit zu verdoppeln.
- g6) Da der Bau über die einzelnen Ebenen erfolgt, sind [Messungen](#) jederzeit möglich. Wenn die Bauweise über Schichten parallel zu Außenverkleidung erfolgt, ist dies wesentlich schwieriger.

Letztendlich stellt sich die Frage, warum das [Problem](#) des Pyramidenbaus in den letzten 200 Jahren nicht gelöst werden konnte.

27. https://en.wikipedia.org/wiki/Jean-Fran%C3%A7ois_Champollion

Dies sind die beiden hauptsächlichen Irrtumstreiber bzw. vergeblichen Hoffnungen, warum das Problem solange nicht gelöst wurde:

- e1) Archäologen suchten vergeblich nach Schriften, Grabinschriften und Spuren im Sand. Die Zunft der Pyramidenbauer war eine hohe Kaste. Um ihre Macht zu bewahren haben sie ihr Wissen streng unter sich behalten. Daher hätte man auch in der zerstörten Bibliothek von Alexandria keine Schriften gefunden. Das ist etwa so, als würde man heutzutage das Rezept von Coca-Cola in der Stadtbibliothek finden.^[28] Die Grabinschriften dienten zur Glorifizierung des Herrschers und nicht zum Festhalten und Weitergeben von Techniken.
- e2) Ingenieure haben krampfhaft versucht [Maschinen](#) zu konstruieren. Zu diesem Zeitpunkt waren weder [Eisen](#) noch Stahl vorhanden. Die Maschinen erhalten ihren Antrieb nur durch Menschenkraft und müssen einen flexiblen Massentransport ermöglichen.

Die kräftigen und flexiblen Hebewerkzeuge waren das ausgeklügelte System von Rampen. Hinzu kam die kollektive Zusammenarbeit von Tausenden von Menschen, welche wie eine Ameisenherde auf engem Raum agierten. Die Bevölkerung bestand überwiegend aus Landwirten und Arbeitern, die keinen Grundbesitz hatten und zu Frondiensten abgeordnet wurden. Auf der anderen Seite bot die Arbeit an den Pyramiden während der Nilflut eine abwechslungsreiche Erfahrung mit zusätzlichem Einkommen. Man war stolz darauf, an diesem Monumentalwerk mitarbeiten zu können. Man wollte seinen Beitrag zu dieser Ewigkeits-Maschine leisten. Nach seinem irdischen Tod sollte der Pharao über diese Maschine zu den Göttern aufsteigen und von dort aus das Schicksal bezähmen. Damit sollte nicht nur der Pharao, sondern sämtliche Leute im Staat das ewige Leben erhalten. Darüber hinaus sollten Katastrophen im Staat ferngehalten werden.

Als Baumaterial für die Pyramide wurde ausschließlich Stein genommen, denn der galt als Symbol der Ewigkeit. Das Monument sollte für die Ewigkeit gebaut werden. Stein konnten sich nur die reichen Leute leisten, wohingegen getrockneter Ziegel leicht und billig verfügbar war. Dieser verwitterte jedoch im Laufe von 200 Jahren, insbesondere wenn er der Feuchtigkeit ausgesetzt war.

Entsprechend den Berichten von Diodor wurde Cheops nicht in der Pyramide beigesetzt. Dies deckt sich mit dem Befund, dass die Königskammer nicht bemalt wurde. Insgesamt betrachtet besaß der Pharao ganz allein die absolute Macht im Staat. Das war den kleineren Fürsten ein Dorn im Auge. Aus Angst, diese könnten den Leichnam des Pharaos zerstören, und ihm somit das ewige Leben unmöglich machen, hatte der Pharao in seinem langen Leben mehrmals seine Meinung geändert und sich am Schluss an einem geheimen Ort bestatten lassen.

Volz ist der Meinung, dass erst ab Erfindung der [Dampfmaschine](#) im 18. Jahrhundert eine Alternative zur damaligen Bautechnik mit Rampen möglich gewesen wäre. Da die Tierkraft nicht eingesetzt werden konnte, war dies die erste Möglichkeit die Menschenkraft durch eine andere Technik zu ersetzen.^[29]

Durch das Zusammenwirken von Intuition, Pragmatismus und mathematischer Modellierung wurde das Problem unbedarft angegangen, was zu einer [Lösung](#) geführt hat.

Zur Ermittlung und Herleitungen der Ergebnisse werden nur die Grundrechenarten und einfache geometrische Eigenschaften verwendet. Mit einem gewissen Aufwand an händischer Rechenarbeit könnte man die Ergebnisse auch ohne Computer ermitteln. Die [Bauprojektierung](#) könnte man ohne großflächiges Papier durchführen, wenn man dazu 4 Holzwände mit 2 m Breite und 1,5 m Höhe hat. Daran werden Schnüre mit Nadeln befestigt, um den Verlauf der Rampen anzuzeigen. Das war vermutlich die architektonische Methode von vor 5000 Jahren.

Aufgrund der elementaren Betrachtungsweise ist diese Arbeit einem breiten Publikum und Schülern der Mittelstufe zugänglich.

28. <https://en.wikipedia.org/wiki/Coca-Cola>

29. https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_engine

2. Inhaltsverzeichnis

1	Über diese Arbeit	1
2	Inhaltsverzeichnis	9
3	Abkürzungen und Werteübersicht	10
4	Pyramiden-Formel	11
5	Gleichförmige Pyramide	14
6	Werte für die Cheops Pyramide	19
7	Parallele Rampen	28
8	Multispiral-Modell	35
9	Pyramidion	39
10	Außenverkleidung	42
11	Verkleidung der Chephren-Pyramide	44
12	Rampenbau	45
13	Transport-Technik	48
14	Schleppteams	50
15	Wenden an den Ecken	52
16	Transport der riesigen Blöcke	54
17	Bauzeit	56
18	Senkrechte Frontalrampe	60
19	Vorschlag von Goyon	62
20	Zweispiral-Modell	63
21	Vorschlag von Lehner	64
22	Kombiniertes Modell	66
23	Andere Vorschläge	68
24	Vergleich der Vorschläge	70
25	Wirkliches Erscheinungsbild	72
26	Stabilität	74
27	Präzision	76
28	Zeitstrahl	78
29	Bedeutung	80
30	Numerologie	82
31	Schlussfolgerung	84
32	Widmung	86
Anhang 1	Rampen-Koordinaten	91
Anhang 2	Installationsrate und Arbeitskräfte	96
Anhang 3	Bauzeit Stufenpyramide	101
Anhang 4	Arbeitsjahre	106
Anhang 5	Installationsrate Ummantelung	111
Anhang 6	Bauzeit Ummantelung	116
Anhang 7	Arbeitsjahre Ummantelung	123
Anhang 8	Rampenvolumen Hauptpfad	128
Anhang 9	Rampenvolumen Einzelspurpfad	133
Anhang 10	Rampenvolumen im Einspiral-Modell	137
Anhang 11	Bauzeit in Houdins Modell	144