

## Transport großer Steinblöcke im Alten Ägypten

### Einleitung

Mit der Errichtung der ersten Mastabagräber in Steinbauweise am Ende der 2. Dynastie und dem Beginn des Pyramidenbaus zu Beginn der 3. Dynastie unter Djoser stellten der Transport von Steinblöcken unterschiedlicher Größe und deren Verbauung in den Pyramiden, Tempelanlagen, Aufwegen und Umfassungsmauern die Baumeister im Alten Reich vor bisher nicht gekannte Problemstellungen, die gelöst werden mussten. Dabei handelte es sich um zwei unterschiedliche Aspekte: Zum einen waren die Baumaterialien aus den Steinbrüchen und den Hafenanlagen zur Baustelle und möglichst auch zum Einbauplatz zu transportieren und zum anderen mussten Steine in eine bestimmte Position gehoben und verbaut werden.

Eine der Grundregeln ägyptischer Bautechnik, die sich dabei entwickelt hat, bestand darin, größere und schwere Steinblöcke zu ziehen und möglichst nur aufzurichten. Dies galt sowohl für den Transport zur Baustelle als auch für das Einbringen in das Bauwerk. Rampen waren also im altägyptischen Bauwesen – so wie in vielen anderen Kulturen vergleichbarer Zeitperioden – übliche Hilfsmittel, um Lasten auf ein höheres Niveau zu transportieren.

Im vorliegenden Beitrag wird die Entwicklung der Techniken zum Transport über Land und Einbau großer Steinblöcke im Alten Ägypten aufgezeigt. Zum Transport mittels Schiffen wird auf die Ausführungen von A. Wirsching verwiesen (siehe Literatur).

### Transport großer Steinblöcke

Der Transport großer Steinblöcke über ebene Flächen und **Rampen** bzw. Aufwege begann mit dem Bau der Pyramiden der 4. Dynastie. So weist Petrie eine erste Baurampe an der Pyramide des Snofru in Meidum nach (Abb.1).

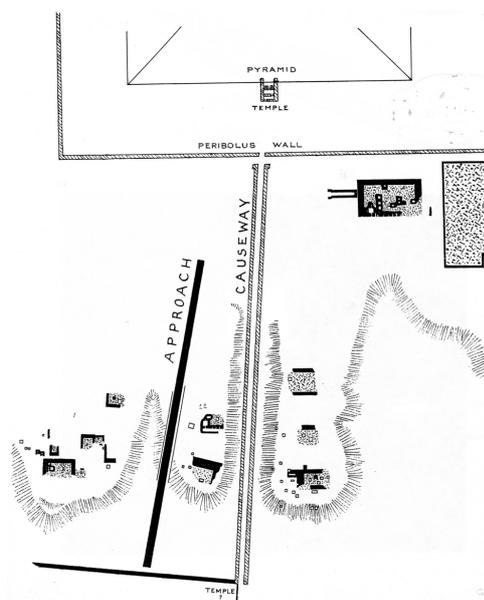


Abb.1 Baurampe an der Pyramide des Snofru in Meidum

Auch bei mehreren der später im Alten mit Mittleren Reich errichteten Pyramiden sind Baurampen archäologisch belegt: So führen vom Fruchmland bzw. vom Taltempel der Roten Pyramide aus zwei Transportrampen, die sich noch teilen, zur Ostseite der Pyramide. Gleiches gilt für zwei Transportwege aus dem Gebiet der nordwestlich gelegenen Steinbrüche. Um eigentliche Baurampen hat es sich dabei nicht gehandelt. Keine der Rampen führt senkrecht auf die Pyramide zu.

In Gisa sind verschiedene kleinere Rampen archäologisch nachgewiesen, die jedoch nach Lehner meist dem Materialtransport dienten [1]. Aufgrund seiner umfangreichen Untersuchungen der topografischen Situation um die Cheopspyramide schließt er längere senkrecht auf die West-, Nord- und Ostseite der Pyramide zulaufende Rampen aus. Unter Berücksichtigung der Lage der Steinbrüche sei von zwei Rampen mit einer Neigung von  $6^\circ$  südlich und östlich der Pyramide auszugehen. Dabei führt die von Süden kommende Rampe auf die SW-Ecke zu und die von Osten herkommende Rampe verläuft parallel zur Südseite der Pyramide. Saleh berichtete von einer Rampe aus der 4. Dynastie in der Nähe der Cheopspyramide, welche eine Breite von 5.4–5.7 m aufwies und an deren Seiten je ein Steinwall errichtet war. Die Steine waren mit Mörtel vermauert. Die Rampe war durch Quermauern in Abschnitte mit Längen zwischen 10 und 21 m unterteilt. Damit ist bereits im Alten Reich die Bauweise einer Transportrampe bzw. Transportstraße nachgewiesen.

Für den Materialtransport zu den Baustellen der Pyramiden des Mittleren Reiches (12. Dynastie, Amenemhet I., Sesostri I. und Sesostri II.) wurden regelmäßig Rampen angelegt und verwendet, die aus zwei Seitenmauern, einem Fundament und quer zur Transportrichtung verlegten Rundhölzern bestanden. Eine typische Ausführung stellt die Rampe zwischen Taltempel und Pyramide des Amenemhet I. in Lischt mit einer Breite von etwa 6,5 m und seitlichen Mauern von 90 cm Dicke dar. Die Vertiefungen für die quer zur Transportrichtung verlegten Holzbohlen sind deutlich zu erkennen. Eine andere Ausführungsart einer Transportrampe befindet sich im Steinbruch der Pyramide des Sesostri II.

Der Bau größerer Rampen mit Außenmauern und einer Füllung aus Schotter ist erst im Neuen Reich Mitte der 18. Dynastie unter Amenhotep III. belegt. Im pAnastasi I befindet sich unter den drei technischen Aufgaben, die dem königlichen Schreiber Amenemopet vorgelegt werden, auch eine, die sich auf eine große Baurampe mit der Basislänge 730 und der Höhe 60 Ellen, also einer Steigung von knapp  $5^\circ$ , bezieht (Abb.2).

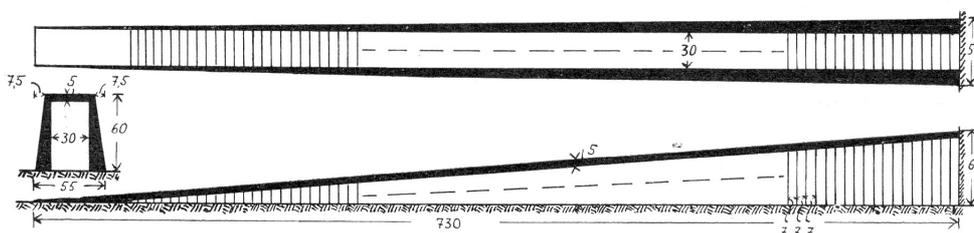


Abb.2 Die Rampe des Pp Anastasi I

Bei dem Transport von Lasten auf der schiefen Ebene treten folgende Kräfte auf:

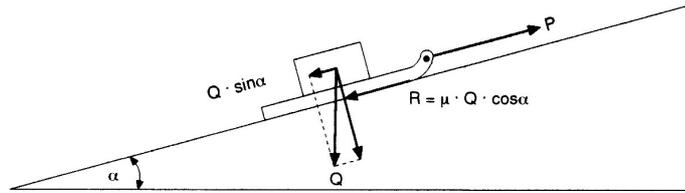


Abb. 3 Kräfteverteilung auf der schiefen Ebene

Dabei sind

- P die erforderliche Zugkraft
- Q die Last (Gewichtskraft der Masse) – z. B. Stein, Schlitten und Seile
- R die Reibungskraft
- $\alpha$  der Neigungswinkel der Ebene (Rampe) und
- $\mu$  die Gleitreibungszahl

Die erforderliche Zugkraft ergibt sich wie folgt:

$$P = Q \cdot \sin \alpha + \mu \cdot Q \cdot \cos \alpha$$

Für das Ziehen von Lasten auf Rampen durch Zugmannschaften bzw. Tiere ist Voraussetzung, dass die Haftreibungskraft  $R$  ( $\mu$  [Haftreibungszahl]  $\cdot Q \cdot \cos \alpha$ ) größer als die Hangabtriebskraft ist, damit bei einer kurzen Pause der Zugmannschaft oder beim Reißen eines Zugseils der Schlitten automatisch zum Stehen kommt und nicht die Rampe rückwärts rutscht (Abrutschsicherheit).

Mit dem Haftreibungsgesetz

$$R < \text{bzw.} = \mu \text{ (Haftreibung)} \cdot Q \cdot \cos \alpha$$

ergibt sich als notwendige Bedingung

$$\mu \text{ (Haftreibung)} > \text{bzw.} = \tan \alpha$$

Die Haftreibung des zu transportierenden Gegenstandes, die von der Beschaffenheit der Kontaktflächen und der Normalkraft, die der Gegenstand auf die Unterlage ausübt, abhängt, muss immer um ca. 20 % größer als die Gleitreibung sein. Durch eine zusätzliche Schubkraft oder durch ein Anhebeln kann sie jedoch einfach überwunden werden.

Damit ergibt sich unter Berücksichtigung der für den Steintransport auf Rampen mit Sand- bzw. Schotterbelag anzusetzenden Gleitreibungszahl eine maximale Neigung der Rampe von ca.  $15^\circ$  [2]. Transportrampen mit einer geringeren Gleitreibungszahl (glatte Steinoberfläche, nasser Untergrund oder quer zur Zugrichtung verlegte Rundhölzer zum Ziehen großer Lasten mit Ochsespannen) müssen mit Blick auf die genannte Abrutschsicherheit Neigungswinkel unterhalb von  $8^\circ$  besitzen. So beträgt der Neigungswinkel der Rampe zum Totentempel des Mykerinos etwa  $7^\circ$ . Der Aufweg zwischen Taltempel und Pyramide des Chephren hat einen solchen von  $6^\circ$  ebenso wie die von Süden aus dem Steinbruch kommende und auf die Cheopspyramide zuführende Rampe.

Der Transport der bis zu 200 t wiegenden Steinblöcke zum Totentempel des Mykerinos und der bis zu 425 t schweren Steinblöcke zum Totentempel der Pyramide des Chephren erschien auf diese Weise mit Ochsespannen ohne weiteres möglich: Es konnte jederzeit eine Ruhepause eingelegt werden, ohne dass eine gefährliche Situation entstand. Die Haftreibung verhinderte ein Zurückrutschen der Steine.

Andererseits wird ein Neigungsverhältnis von 2:1 ( $26^{\circ} 33' 54''$ ) mit nur ganz geringen Abweichungen bei den Pyramiden der 4. Dynastie für abwärts und aufwärts gerichtete Korridore verwendet und ist somit im Alten Reich belegt. So wurden beispielsweise über den Grabkammerkorridor in der Pyramide des Mykerinos mit einem Querschnitt von 1,20 m Höhe und 1,06 m Breite beim Bau der Grabkammern aus dem Felsen gebrochenes Material nach oben und Verkleidungssteine (Granit) nach unten transportiert. Letztere hatten Abmessungen bis zu 4,2 m mal 0,6 m mal 0,9 m bei einem Gewicht von ca. 6,5t. Derartige Steine können in einem solch steilen Korridor nur langsam hinabgelassen werden. Die Seile, an denen die Steinblöcke befestigt waren, mussten am Eingang des Grabkorridors in einer Biegung nach außen geführt und dort gehalten bzw. langsam nachgelassen werden. Die „Bremskraft“, die unter Berücksichtigung des Reibungswiderstands aufgebracht werden muss, beträgt etwa 2500 kp. Dafür wären ca. 50 Arbeiter (je 50 kp Kraft) erforderlich. Dabei wurde vermutlich die Umlenkung über eine Walze vorgenommen, um ein Scheuern der Seile am Stein zu vermeiden.

Darüber hinaus sind aus verschiedenen Gräbern Darstellungen von Rampen mit einer Neigung im Verhältnis Länge zu Höhe von 2:1 bekannt:

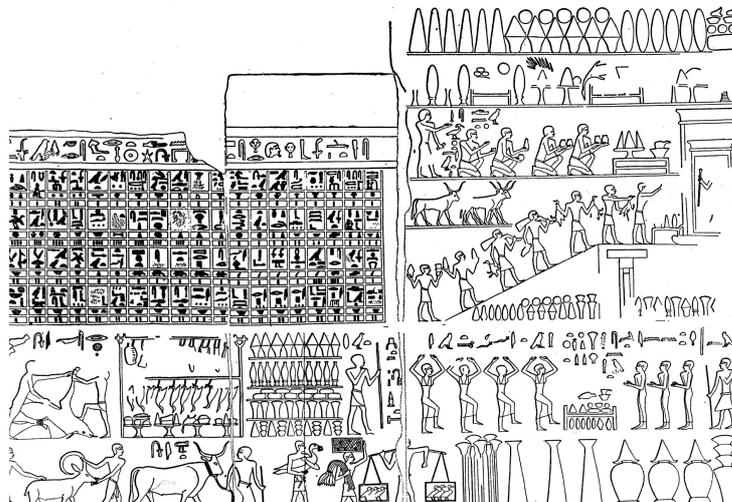


Abb. 4 Umzeichnung einer Rampe aus dem Grab des Debeheni (5. Dynastie) nach Hassan



Abb. 5 Umzeichnung einer Ziegelbaurampe aus dem Grab des Rehmire (18. Dynastie)

Der Transport von Statuen und unterschiedlichsten Gütern auf **ebenen Flächen** ist seit Beginn des Alten Reiches vielfach belegt. So ist im Grab des Hetepheracht, eines hohen Offiziers aus Memphis (5. Dynastie), der Transport einer Statue dargestellt (Abb.6). Darin ziehen zwei Rinder die auf einer schlittenähnlichen (Holz?) Unterlage stehende und gegen Umstürzen bzw. Verschieben gesicherte Statue. Darüber hinaus gibt es weitere Exponate, die eindeutig als Schlitten einzuordnen sind [3]. Schlitten mit größeren Lasten erfordern für ihren Transport einen festen Untergrund, da ansonsten durch das Einsinken der Kufen eine wesentlich größere Reibung entsteht und eine unvergleichlich höhere Zugkraft erforderlich ist. Als Untergrund kommen daher entweder glatte Steinflächen, wie sie von Herodot für die Transportwege beschrieben werden, oder quer zur Transportrichtung auf den Untergrund verlegte Rundhölzer infrage.

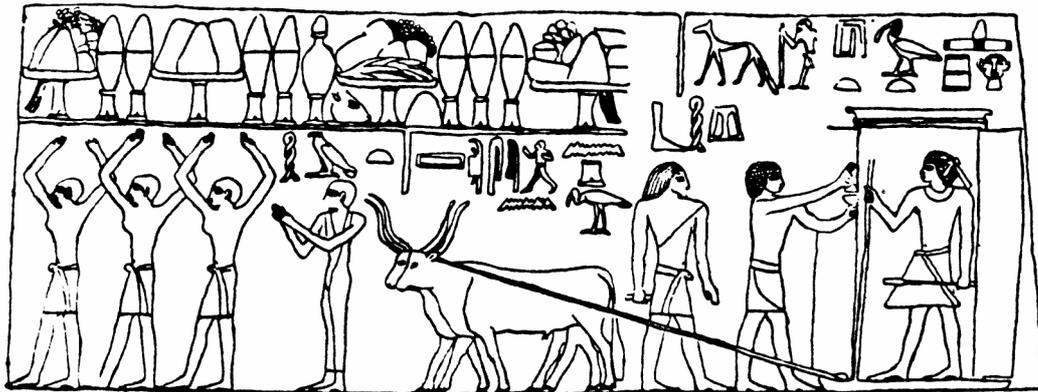


Abb. 6 Transport einer Statue mittels Ochsespann aus dem Grab des Hetepheracht

Bei einer angenommenen und mit Funden in etwa übereinstimmenden Länge eines Schlittens von 3 m mit 30 cm breiten Kufen ergibt sich eine maximale Auflagefläche (auf einem glatten Untergrund) von ca. 18 000 cm<sup>2</sup>. Bei einem Gewicht eines Steins von 4,5 t und des Schlittens von 200 kg ergibt sich pro Quadratzentimeter ein Druck von 261 Gramm. Dieser Druck pro Flächeneinheit wäre noch wesentlich größer, wenn der Schlitten über quergelegte Holzrollen gezogen würde, und führte sehr schnell zu einer starken Abnutzung der Holzkufen. Es ist daher anzunehmen, dass schwere Steine ohne Schlitten direkt über Holzrollen bzw. Steinkugeln transportiert wurden.

Charlton berichtet in diesem Zusammenhang von einem in situ in den Kalksteinbrüchen von Tura gefundenen Steinblock für den Pyramidenbau, der noch auf hölzernen Rollen lag. An einer Seite befand sich noch eine Bauinschrift in schwarzer Farbe. Damit ist für das Alte Reich der Einsatz von Walzen bzw. Rundhölzern für den Transport schwerer Güter belegt.

Aus der 12. Dynastie ist aus der Zeit der Regentschaft des Sesostris III. eine Transportstraße für Schiffe zur Umgehung des zweiten Katarakts bekannt. Während der UNESCO-Rettungsarbeiten in Nubien entdeckten 1964 französische Archäologen unweit der Festung Mirgissa die Überreste dieser Transporttrasse (Abb.7).

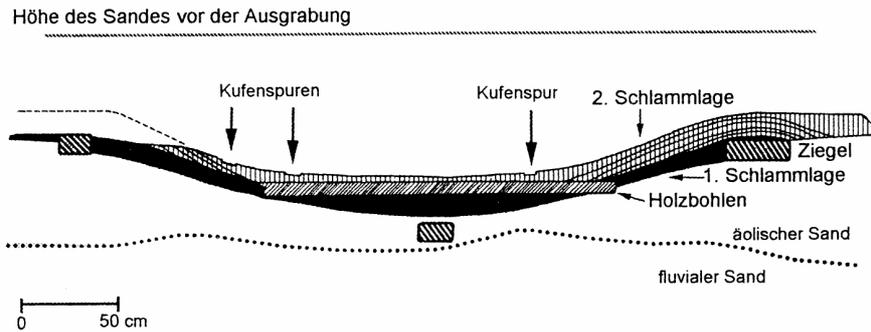


Abb. 7 Schnitt durch den stromabwärts erhaltenen Teil der Gleitbahn von Mirgissa nach Vogel

Der Transportweg besteht aus zwei seitlich aufgeschütteten Böschungen und quer zur Transportrichtung verlegten runden Holzbohlen sowie einer dicken Schlammschicht über den Bohlen zwischen den beiden Böschungen [4]. Die Gleitreibungszahl  $\mu$  einer derartigen feuchten Gleitbahn ist außerordentlich gering und liegt nur bei etwa 0,01, sodass auch große Lasten (Schiffe) mit relativ wenig Kraftaufwand gezogen werden konnten. Eine ähnlich geringe Gleitreibungszahl besitzt z. B. ein feuchter Knüppeldamm in einem Moor.

Um schwere Lasten über Land zu transportieren, muss es befestigte Wege bzw. Straßen gegeben haben. Die älteste bisher gekannt gewordene befestigte Straße führt von dem aus der 5. bzw. 6. Dynastie datierenden Widan el-Faras Steinbruchgebiet zum Moeris-See. Auf ca. 12 km Länge ist sie zu verfolgen. Der Höhenunterschied beträgt 140 m bei Steigungen bis zu  $4^\circ$ . Die Pflasterung der ca. 2 m breiten Straße besteht aus eng aneinandergelegten Platten anstehenden Gesteins bzw. aus versteinertem Holz ohne Fundamentierung. An den Resten der Straße wurden keine Spuraushöhlungen – hervorgerufen durch Schlittenkufen – gefunden. Im Alten Ägypten gab es einen vergleichsweise hohen Standard im Trassenbau und bei deren Markierung.

### Anheben und Absenken schwerer Lasten

Für das Anheben und Absenken schwerer Lasten wurden Seile und Umlenkrollen eingesetzt.

**Seile** bestanden aus Gras, Palmfaser (Palmbast) oder Hanfgras (*Desmostachya bipinnata*), Papyrus sowie Leder. Die Ägypter besaßen eine große Fertigkeit in der Herstellung von Seilen. Aus einer Reihe von Abbildungen in Gräbern ab dem Alten Reich ist die Technik der Seilherstellung gut zu erkennen. Aus Abbildungen von Booten und Schiffen in Reliefdarstellungen und in Gräbern ist zu entnehmen, dass auch Seile größeren Durchmessers verwendet wurden. Beim Bau der Sonnenbarke des Cheops, die nach dem Fund in einer der Bootsgruben der Cheopspyramide später wieder zusammengesetzt wurde und sich heute im Museum an der Südseite der Pyramide befindet, wurden auch Hanfseile mit den Durchmessern von 13, 8 und 5 mm verwendet. Hanfseile haben eine höhere Festigkeit als solche aus Palmbast und konnten zum Ziehen auch großer Lasten eingesetzt werden.

### Seilumlenkung

Als ältester archäologischer Beleg zum Aufrichten von Bauteilen mittels Seilumlenkung kann der Fund einer steinernen Seilumlenkeinrichtung im Areal des Taltempels (Hafenanlage?) des Mykerinos aus dem Alten Reich gelten (Abb. 8):

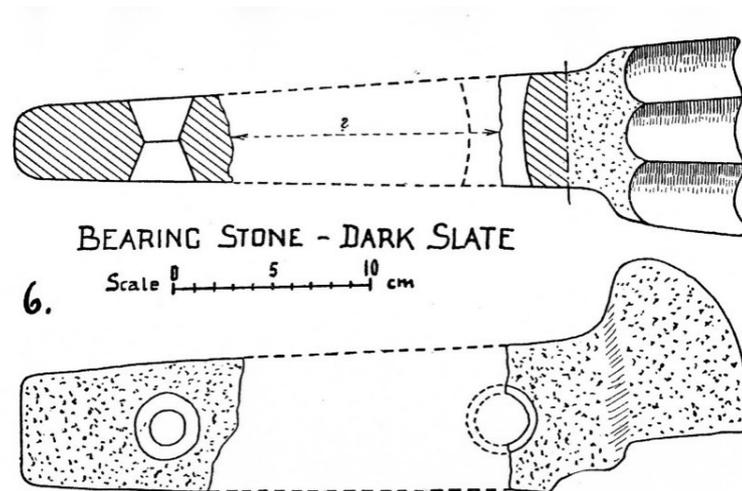


Abb. 8 Steinernen Seilumlenkeinrichtung

Eine denkbare Verwendung in einem Holzgestell schlägt Arnold vor (Abb.9).

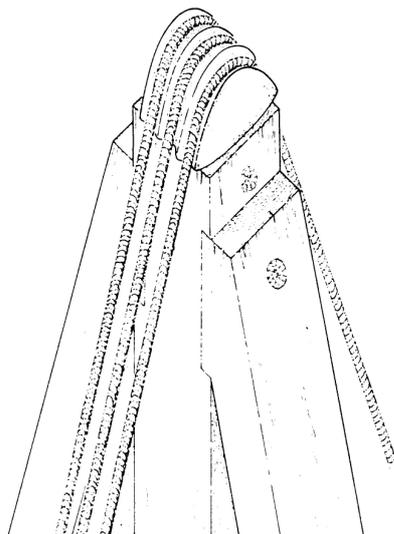


Abb. 9 Einsatz einer steinernen Seilumlenkeinrichtung nach Arnold

Für das **Alte Reich** ist damit nachgewiesen, dass mit der in der Fallsteinkammer der Cheops-  
pyramide in halbrunde Vertiefungen eingelegten Walze [5] und mit nicht beweglich an-  
geordneten Seilumlenkeinrichtungen entsprechend Abb. 8 die Kraftumlenkung mittels Seilen  
verwendet wurde.

Das Wagenrad existierte im Alten Reich nicht. Aus der 5. Dynastie ist jedoch eine Dar-  
stellung bekannt, in der eine Leiter mit beweglichen Scheibenrädern zum Erstürmen von  
Mauern abgebildet ist. Für den Transport schwerer Lasten wurden fahrbare Einrichtungen mit  
Rädern offensichtlich jedoch nicht eingesetzt. Es gibt dafür zumindest keinerlei Hinweise  
bzw. archäologische Belege. Andererseits kann aber auch nicht ausgeschlossen werden, dass  
es bereits im AR bewegliche Seilrollen aus Holz gab. Die Vermutungen von Stadelmann im  
Zusammenhang mit den Blockiersteinen in der Fallsteinkammer der Cheops-  
pyramide, dass

„...das Prinzip des Flaschenzuges den alten Baumeistern durchaus bekannt war...“ könnten zutreffen.

In einem Grab in Lischt-Nord wurden drei hölzerne Seilrollen für die Führung von je zwei Seilen gefunden (Abb. 10), die in die späte 12. Dynastie und damit ins **Mittlere Reich** datiert werden. Damit ist zum ersten Mal die Seilumlenkung mittels einer auf einer Walze drehbar angeordneten Rolle nachgewiesen. Mit derartigen Rollen lässt sich das Prinzip des Flaschenzuges realisieren.



Abb. 10 Holzrolle mit zwei Führungsrillen für Seile (12. Dynastie)

Weitere vergleichbare Seilrollen – auch größeren Formats - sind aus dem **Neuen Reich** bekannt (Abb. 11). So wurde in einem anonymen Grab (Nr. 1353) aus der 18. Dynastie in Deir el-Medine eine ebenfalls auf einer Walze drehbar angeordnete Seilrolle bzw. Winde mit einem Seil aus Palmfasern gefunden.



Abb. 11 Seilrolle bzw. Winde (18. Dynastie)

Für die Seilumlenkung wurde auch eine im Pyramidenbezirk des Djoser in Saqqara gefundene Seilrolle aus Holz – wiederum auf einer Walze drehbar angeordnet – eingesetzt, die Lauer beschreibt (Abb. 12): Clarke und Engelbach vertreten dazu die Auffassung, dass diese Um- lenkrolle aus römischer Zeit stamme. Arnold ordnet sie der Saitenzeit zu.

Auf einem Rundholz von ca. 8 cm Durchmesser drehbar angeordnet diente sie als eine Art Lager für ein umzulenkendes Seil. Das Rundholz selbst war vermutlich links und rechts der Seilrolle abgestützt, sodass sich für nachstehend aufgeführte Berechnung eine lichte Weite von ca. 60 cm ergibt.

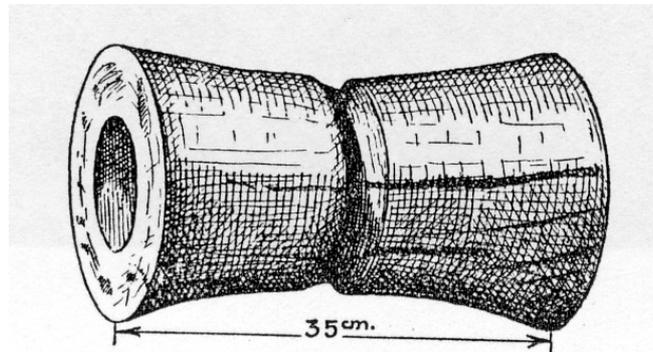


Fig. 26. — Poulie de bois.

Abb. 12 Seilrolle aus dem Bereich der Pyramide des Djoser

Für die Berechnung der mit einem Seil über diese Seilrolle umzulenkenden Kraft wird eine Belastungsobergrenze (maximale Biegespannung, Biegezugfestigkeit) von  $1000 \text{ kg/cm}^2$  für Hartholz bzw. von  $750 \text{ kg/cm}^2$  für Holz der Nilakazie angenommen. Aufgrund der Breite der Seilrolle und deren gleichmäßiger Auflage auf dem Rundholz dürfte der Gesamtdurchmesser ca. 10 cm betragen. Die umzulenkende Kraft lässt sich dann mit maximal  $4167 \text{ kg}$  bzw.  $3125 \text{ kg}$  ermitteln. Für eine Umlenkrolle mit innerer Walze und einem angenommenen Durchmesser von 15 cm ergeben sich die maximal umzulenkenden Kräfte mit  $14\text{t}$  bzw.  $10,5\text{t}$ .

Derart gestaltete Seilrollen in unterschiedlichen Ausführungen (Abmessungen) wurden im Alten Ägypten für die Umlenkung auch großer Kräfte bzw. Lasten auf schiefen Ebenen eingesetzt.

Einmal wurden die Seilrollen zum Aufrichten von Plastiken, Säulen und Pfeilern benutzt, wie Hölscher beim Bau des Totentempels des Chephren nachweist [6]. Auch Borchardt beschreibt, dass an vielen Steinblöcken in Gise und Abusir noch sichtbare Spuren von zangenartigen Hebeeinrichtungen vorhanden seien. Darüber hinaus zeigten die an vielen Blöcken noch stehenden Bossen, dass Stricke zum Aufrichten bzw. Anheben verwendet wurden. Auch die Errichtung der Giebeldächer in der Cheopspyramide sowie der in offener Bauweise angelegten Grabkammern der Pyramiden der 5. und 6. Dynastie – vielleicht auch schon des Giebeldachs der Grabkammer in der Pyramide des Djedefre in Abu Roasch – ist ohne den Einsatz von Hebe- bzw. Umlenkeinrichtungen in Verbindung mit der schiefen Ebene kaum vorstellbar.

Andererseits wurden über Umlenkrollen große Steinblöcke und auch Särge über steile Rampen (Grabkorridore) hinabgelassen. Auch der umgekehrte Transport schwerer Lasten über steile Rampen mit dem Neigungsverhältnis 2:1 nach oben mit über Umlenkrollen abwärtsgerichteten Zugkräften unter Einbeziehung des Körpergewichts der Zugmannschaft dürfte – insbesondere beim Bau großer Gebäude und auch der Pyramiden im Alten Reich – praktiziert worden sein und kann als Stand der Technik angenommen werden.

## Schlussbemerkung

Vorstehend dargelegte Ausführungen zeigen, dass der Transport großer Steinblöcke und beladener Schlitten durch Menschen bzw. Zugtiere ohne deren Gefährdung (Zurückrutschen der Ladung) im Alten Ägypten aufgrund der genutzten Techniken nur auf der Ebene und auf Rampen bis ca. 8° Neigung möglich war und damit nur für den Materialtransport zur Baustelle Anwendung fand.

Rampen größerer Neigung dagegen wurden unter Verwendung der Seilumlenkrolle und abwärtsgerichteter Zugkräfte auch als Baurampen beim Tempel- und Pyramidenbau (Tangentialrampen) eingesetzt.

## Anmerkungen

- [1] Lehner, The Development of the Giza Necropolis: The Khufu Project in: MDAIK 41 (1985), S.109–143.
- [2] Dörnenburg, Pyramidengeheimnisse? Enträtselte Mysterien, Brose, 2008, S.148.
- [3] Arnold, Buildings in Egypt, Oxford University Press, 1991, S.276, Fig.6.36.
- [4] Vogel, Nilschiffahrt im Bereich des Zweiten Katarakts in: SAK 26 (1998), S.265ff.
- [5] Maragioglio und Rinaldi, L'Architettura delle Piramidi Menfite, Band IV, Turin/Rapallo, 1963–1970, S.44–48, S.126–128 und TAV.7, Fig.1–9.
- [6] Hölscher, Das Grabdenkmal des Königs Chephren, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1912.

## Literatur (Auswahl)

Arnold, D. Building in Egypt, Oxford University Press, 1991

Müller-Römer, F., Die Technik des Pyramidenbaus im Alten Ägypten, Utz Verlag München, 2008

Lehner, M., Das Geheimnis der Pyramiden, Orbis Verlag, München, 1999

Stadelmann, R., Die ägyptischen Pyramiden, Philipp von Zabern, Mainz, 1997

Unterberger, E., Die Tricks der Pyramidenbauer, Eigenverlag, Innsbruck, 2008

Wirsching, A., Das Doppelschiff – die altägyptische Technologie zur Beförderung Schwerster Steinlasten in:SAK 27 (1999), 389ff