

Um einen Block mit $m_{Bl} = 2500 \text{ kg}$ eine Steigung von $\alpha = 6^\circ$ hochzuziehen, bei optimalen Schmierverhältnissen am Schlitten und voller Griffigkeit an den Füßen der ziehenden Mannschaft, sind also

18 Männer

erforderlich.

Die einseitige Zick-Zack-Rampe

Um die Schlitten mit den Steinblöcken in die Höhe zu bringen, muß bei dieser Rampenversion – im Gegensatz zur Umlaufenden Rampe – auf nur einer Seite der Pyramide an der Rampe gebaut werden. In Erweiterung zur Umlaufenden Rampe muß hier jedoch nicht nur eine Straße für Schlepplzüge gebaut werden, sondern auch Wendeplatten, da die Schlitten an den Kanten der Pyramide um 180° gedreht werden müssen (siehe Abb. 16).

Therefore, in order to haul a block of $m_{Bl} = 2500 \text{ kg}$ up a slope $\alpha = 6^\circ$ with ideal gliding conditions for the sledges and firm footing for the team,

18 men

would be required.

The one-sided zig-zag ramp

This type of ramp – unlike the spiral ramp – only needs to be built on one side of the pyramid to provide passage for the sledges carrying the stone blocks. However, an extra feature is required in relation to the spiral ramp. Besides the path along which the sledge units are towed, hairpin bends are needed to turn the sledges through 180° when they reach the edge of the pyramid (see Fig. 16).

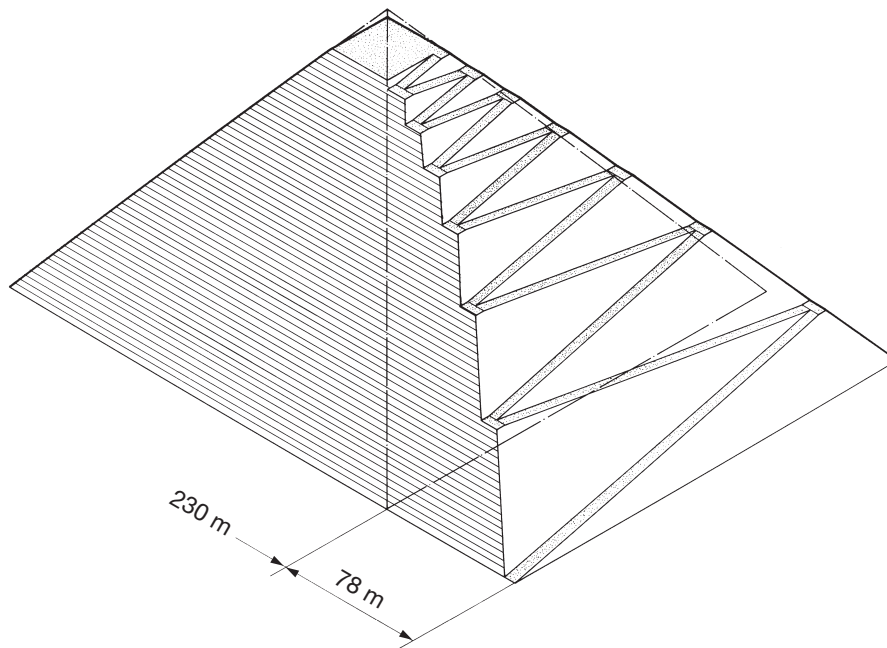


Abb. 16 – Zick-Zack-Rampe – Rampenverlauf mit Wendeplatten

Fig. 16 – The zig-zag-ramp – course of the ramp, with hairpin bends

Allgemeine Merkmale dieser Rampenvariante wären:

- Die Straßenbreite muß ebenfalls wie bei den anderen Rampenversionen mindestens 4 m betragen, da auch hier ein Aufwärts- und Abwärtsverkehr gewährleistet sein muß.
- An den Enden der einzelnen Straßenabschnitte, linkssteigend oder rechtssteigend, müssen horizontal liegende Wendeplatten gebaut werden, die für die 180°-Wende, je nach Wendetechnik, unterschiedliche Dimensionen haben müssen. Es sei gleich hier darauf hingewiesen, daß die Abmessungen der Wendeplatten entscheidenden Einfluß auf die erzielbare Bauhöhe der Pyramide haben. Näheres dazu im Abschnitt Variante 1.
- Die zurückzulegende Strecke des Schlittens richtet sich nach der Höhe, auf die der Schlitten gezogen wird. Mit Hilfe des Steigungswinkels der Baustraße kann die Länge der Wegstrecke exakt berechnet werden:

$$\begin{aligned} \text{Höhe [m]} \cdot \text{Steigung [\%]} &= \text{Wegstrecke [m]} \\ 120 \text{ [m]} \cdot 10 \text{ [\%]} &= 1\,200 \text{ [m]} \end{aligned}$$

Diese Gleichung gilt für jede Bauform der Rampen.

- Da sich die Pyramide nach oben verjüngt und die Straße dieser Verjüngung folgt, hat der Schlitten die Tendenz, seitlich aus der Spur zu geraten. Vermutlich muß die Zugmannschaft immer wieder anhalten, um den Schlitten neu auszurichten. Das ist kein großes Problem, da die Leute so oder so Pausen einlegen müssen, um zwischendurch wieder zu Atem und zu Kräften zu kommen. Wie viele Meter eine Zugmannschaft pro Tag schafft, bleibt Versuchen vorbehalten.
- Bei einer einseitigen Rampe sind alle 4 Kanten der Pyramide sichtbar und zugänglich, so daß für Vermessungen und Kontrollen alle Freiheiten gegeben sind.
- Die vierte Seite der Pyramide ist komplett bebaut. Die Stufen des Kernmauerwerks müssen als Auflage für den Untergrund der Baustraße genutzt werden, da eine glatte Schräge nicht genügend Halt für die Belastung durch die Schleppzüge – also Schlitten mit Steinblock

This type of ramp would have the following general features:

- Similar to the other types of ramp, the construction road must be at least 4 m wide, to cater for traffic going upwards and downwards.
- Horizontal hairpin bends must be constructed at the end of each separate section of the construction road. These rise to the right or to the left, and their dimensions vary in accordance with the technology used to effect the 180° turn. It should be noted at this point that the dimensions of the hairpin bends have a decisive influence on the height to which the pyramid can be built. More detail on this can be found in the section on version 1.
- The distance that has to be covered by the sledge depends on the height to which it is pulled. With the aid of the gradient angle of the construction road, the length of the path can be determined exactly:

$$\begin{aligned} \text{height [m]} \cdot \text{gradient [\%]} &= \text{distance [m]} \\ 120 \text{ [m]} \cdot 10 \text{ [\%]} &= 1\,200 \text{ [m]} \end{aligned}$$

This formula applies to all types of ramp.

- Because the pyramid tapers upwards and the construction road tapers with it, the sledge will tend to slide sideways off the track. The hauling team would probably have to keep stopping to point the sledge in the right direction again. That is not a great problem, since the men would have to keep stopping anyway for a rest, in order get their breath back and recover their strength. Experiments would be required to find out how many metres a team could cover in a day.
- The one-sided ramp permits a clear view of all four sides of the pyramid and access to them, so that measuring and inspections could be carried out without restrictions.
- The fourth side of the pyramid is totally under construction. The steps of the core have to be used as a basis for building the foundation of the construction road, since a smooth, sloping surface would not be able to provide adequate resistance to the load created by the stream

plus 18 Mann Zugmannschaft, ein Schleppzug hinter dem anderen – bieten kann.

- Bei den drei freiliegenden Flanken können die Verkleidungssteine gleichzeitig mit dem Kernmauerwerk verlegt werden, sofern das im Gesamtzusammenhang überhaupt sinnvoll wäre. Die Verkleidungssteine auf der Rampenseite können erst beim Rückbau der Rampe von oben nach unten verlegt werden. Dabei entstehen Probleme, weil der aktuell zu verlegende Stein zwischen den bereits oben liegenden Verkleidungsstein und die Stufe des Kernmauerwerks eingeschoben werden muß. Dieses Einschieben ist eine problematische Angelegenheit, da der Stein exakt auf den Millimeter und winkeltgerecht vorbereitet sein muß. Wenn das alles paßt, entstehen beim Einschieben Reibungskräfte zwischen den Steinen. Diese Schwierigkeiten werden im Kapitel „Verkleidungssteine“ ausführlich behandelt.
- Das Bauvolumen ist um ein Mehrfaches kleiner als bei einer geraden Rampe, aber mit ungefähr einem Drittel des Bauvolumen der Pyramide, immerhin noch ca. 800 000 m³, ein ganz erheblicher Aufwand. Dieser Aufwand hat Einfluß auf die Bauzeit, zu der auch die Abbauphase gehört, die Anzahl der Mannschaften und was alles sonst noch dazugehört.

Wie ginge man vor beim Bau einer Zick-Zack-Pyramide?

Im Prinzip gibt es zwei Varianten für die Vorgehensweise, wie in Abb. 17 dargestellt.

Voraussetzung für den funktionierenden Baufortschritt ist eine kontinuierliche Nutzung der Baustraße. Bei der ständigen Erhöhung der Rampe muß dafür gesorgt werden, daß der Schlittenverkehr ohne Störungen weitergeführt werden kann.

of towing traffic – each unit consisting of a sledge with a block of stone on it, plus a team of 18 men, one sledge after another.

- In the case of the three free faces, the casing stones can be positioned simultaneously with the core, insofar as this makes sense within the context of the whole. The casing stones on the face with the ramp can only be laid when the ramp is dismantled, starting on top and working downwards. Problems will arise in the process, because the stone that is just being laid has to be pushed into position between the casing stone above it and the step of the core. Fitting the stone in like this is difficult, as it must be previously prepared and angled in such a way that it is exact to the millimetre. Even if it is a good fit, friction forces come into play between the stones when it is pushed into place. These difficulties are dealt with in detail in the chapter on “Casing stones”.
- The construction volume is far less than in the case of a straight ramp, but makes up about a third of the construction volume of the whole pyramid, about 800 000 m³, which is still a considerable amount. The work involved in this affects building time, (including dismantling), the number of teams required and any other connected factors.

How was a zig-zag pyramid built?

In principle, there are two different ways of doing this, as shown in Fig. 17.

A prerequisite for efficient building progress is uninterrupted utilisation of the construction road. As the ramp constantly grows higher, care must be taken that the sledge traffic can operate continually, without disruptions.