Bernhard Kerres

CHEOPS

IN DER MITTE DER PYRAMIDE

Detaillierte Gebäudeanalyse und Theorie
zum Bau der Cheops-Pyramide

Zu diesem Buch

Es gibt wohl nur wenige Bauwerke, über die so viel publiziert worden ist, wie über die Cheops-Pyramide. Gibt man den Begriff „Bau der Cheops-Pyramide“ in die Suchmaschine von Google ein, erhält man rund 30 000 Verweise. Jedoch sind das nicht alles Abhandlungen, die sich grundsätzlich mit dem Bau befassen, die Quellenangaben schließen auch Publikationen ein, in denen das Thema lediglich Erwähnung findet. Aber auch wenn man nur diejenigen Abhandlungen berücksichtigt, die sich mit dem Bau der Cheops-Pyramide schwerpunktmäßig beschäftigen, geht deren Zahl vermutlich in die Tausende. Die Frage nach dem Sinn, dieser Unmenge an Veröffentlichungen eine weitere hinzufügen zu wollen, ist daher durchaus berechtigt.

Kaum ein anderes Bauwerk wurde so genau erkundet, begutachtet und bis ins Detail analysiert, vermessen und fotografiert wie diese Pyramide. Viele Generationen von Ägyptologen und Forschern haben sich mit dem Bau auseinandergesetzt und jede Besonderheit notiert. Dennoch bleiben bis heute grundlegende Fragen offen. Das bezieht sich nicht nur auf die für viele Autoren im Vordergrund stehende Frage, wie die damaligen Bauleute die bis zu 50 Tonnen schweren Steinblöcke in große Höhen transportieren konnten, sondern auch auf die teilweise unlogisch erscheinende Führung der inneren Gänge sowie auf die Funktion von drei Kammern, wo doch eine einzige Grabkammer ausgereicht hätte. Die in Fachkreisen vorherrschende Auffassung, der heutige Zustand der Kammern und Gänge sei das Ergebnis mehrerer Planänderungen während der Bauzeit, ist bei näherer Betrachtung nicht aufrechtzuerhalten. Zudem ist teilweise nicht eindeutig geklärt, welche der zahlreichen horizontalen und vertikalen Schächte dem ursprünglichen Bauwerk und welche dem Werk späterer Grabräuber zuzuschreiben sind. Auch wie die Gesamtanlage, die Pyramide mit ihrer Vielzahl weiterer Grabbauten, Umfassungsmauern und möglichen Umgebungsbauten einmal ausgesehen haben könnte, liegt weitgehend im Dunkeln.

Dass es bislang keine umfassende Theorie gibt, die den Pyramidenbau sowie den Zustand der inneren Räumlichkeiten logisch nachvollziehbar erklären kann, zeigt deutlich auf, dass man den Gebäudeaufbau und die Sinnhaftigkeit des inneren Gang- und Kammersystems noch nicht hinreichend verstanden hat. Ein wesentlicher Grund dafür ist die vorherrschende eher einseitige Betrachtung des Untersuchungsgegenstands Cheops-Pyramide. Die meisten Autoren befassen sich nur mit Einzelaspekten des Bauwerks, sei es der Steintransport oder die Interpretation des Gang- und Kammersystems. Hin und wieder gibt es auch neue Forschungsergebnisse, die sich aber meist auf Details beziehen und in ihrer Bedeutung für das Gesamtverständnis des Bauwerks oft überschätzt werden. Daneben gibt es selbstverständlich die wertvollen Werke anerkannter Ägyptologen mit wissenschaftlich begründeten Zusammenstellungen aller bislang erworbenen Erkenntnisse. Pläne dienen dabei leider oft nur der Illustration, vom eigentlichen Bauen ist nur selten die Rede. Woran es nach Auffassung des Autors mangelt, ist eine alle Aspekte des Bauens umfassende Analyse der Cheops-Pyramide, aus der heraus sich neue Erkenntnisse oder Theorien gewinnen lassen. Es gilt herauszufinden, welche Anforderungen an das Bauwerk die Erbauer damals für wichtig erachtet haben. Warum wurde die Pyramide in all ihrer scheinbaren Widersprüchlichkeit so erstellt? Wie kamen die Baumeister zu diesem Entwurf? Eine Antwort darauf ist nur durch eine konsequente Erforschung aller Einzelbausteine des Gebäudeentwurfs zu erlangen. Ein Entwurfsprozess ist eine sehr vielschichtige Angelegenheit. Da die Anforderungen an das zu erstellende Bauwerk sehr unterschiedlicher Natur sind, sind beim Entwurf auch viele verschiedene Aspekte gleichzeitig zu beachten. Die Anforderungen an einen Gebäudeentwurf lassen sich im Wesentlichen mit drei Hauptanforderungen zusammenfassen, nämlich Funktion, Konstruktion und Form. Diese drei Aspekte sind zunächst einmal unabhängig voneinander zu betrachten. Sie haben ursächlich auch nichts miteinander zu tun, sie können sich sogar widersprechen.

Die Funktion steht meistens am Anfang aller Entwurfsüberlegungen. Man errichtet ein Gebäude zu einem bestimmten Zweck und die Anordnung der Räume und ihre Beziehung untereinander müssen die späteren Nutzungsanforderungen möglichst optimal erfüllen. Die funktionalen Aspekte beziehen sich aber nicht nur auf das Gebäudeinnere, sondern auch auf das städtebauliche Umfeld. Vor allem bei öffentlichen Gebäuden spielen Dimensionierung und Stellung im Stadtraum sowie ihr Zusammenspiel mit den übrigen Gebäuden und Plätzen eine wesentliche Rolle. Zu den funktionalen Aspekten zählt auch eine durchdachte Organisation des Bauablaufs. Wie muss die Baustelle organisiert werden und auf welche Weise erfolgt der Materialtransport? Wie stellt man den täglichen Zugang zur Baustelle für Tausende von Arbeitern sicher?

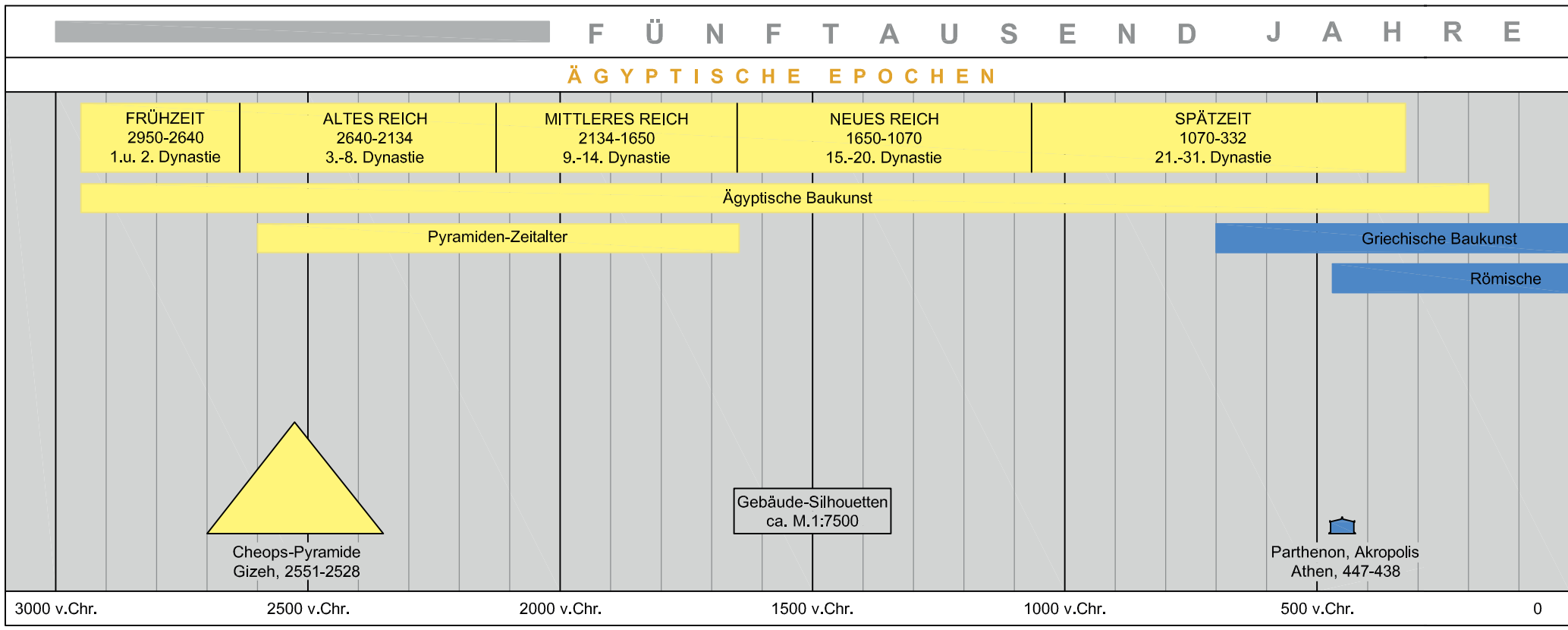
Die zweite Hauptanforderung, die Konstruktion, umfasst weit mehr als nur statische Berechnungen. Während sich die Statik in erster Linie mit der Dimensionierung der maßgeblichen Bauteile befasst, geht der Entwurf einer geeigneten Konstruktion weit darüber hinaus. Es gilt, eine dreidimensionale und möglichst regelhafte Struktur zu entwickeln, die mit den inneren Räumlichkeiten kompatibel ist und die eine sinnvolle und möglichst einfache Aufnahme und Ableitung der auftretenden Kräfte erlaubt. Ein wichtiger Teilaspekt ist

die messtechnische Kontrolle der Arbeiten während der gesamten Bauzeit. Die Pyramidenform, bei der vier gleich geneigte Seitenwände zu einer gemeinsamen Spitze geführt werden müssen, stellt dabei eine besonders große Herausforderung an die Vermessung dar.

Eine angemessene Form für ein Gebäude und dessen Räume zu finden, ist wohl der schwierigste Part unter den drei Entwurfsanforderungen. Im Gegensatz zu den funktionalen und konstruktiven Aspekten, die überwiegend auf rationalen und logisch nachvollziehbaren Gedankengängen fußen, richtet sich die Form weitgehend an die Gefühlswelt des Betrachters. Obwohl die Formfindung sich oft strengen Regeln unterwirft, ist sie doch letztlich ein Akt, dem die Ratio allein nicht beikommt. Die unterschiedliche Dimensionierung und Proportionierung der Räume sowie ihre jeweilige formale Ausgestaltung mit Dekor, Symbolik und Licht können beim Betrachter unterschiedliche Reaktionen auslösen wie das Gefühl von Weite oder Enge, Erhabenheit oder Geborgenheit, auch Demut, Großzügigkeit oder Schlichtheit.

Die Kunst des Baumeisters besteht darin, die einzelnen Entwurfsüberlegungen zu Funktion, Konstruktion und Form zu einer Einheit zusammenzubinden. Gelingt dies in hohem Maß, spricht man von Baukunst. Schon der römische Baumeister Vitruv (ca. 84 – 27 v. Chr.) bezeichnete in seinem Werk „Zehn Bücher über Architektur“ diese drei Aspekte als Hauptanforderungen an die Baukunst und nannte sie *Utilitas* (Zweckmäßigkeit), *Firmitas* (Festigkeit) und *Venustas* (Anmut).[1] *„De architektura libri decem“* ist das einzige bis heute erhalten gebliebene Werk der antiken Architekturlehre. So wie sie es dem Lernenden ermöglichen sollte, bedeutende Bauwerke zu errichten, sollte die Systematik der Lehre auch darauf abzielen, Bauwerke zu analysieren und zu bewerten. Dies ist ein entscheidender Punkt. Eine entsprechend dreiteilige Analyse eines Bauwerks oder eines Bauteils lässt sehr viel zielgerechtere Rückschlüsse auf die maßgeblichen Anforderungen zu, die die damaligen Baumeister im Sinn hatten, als eine reine Analyse des Endprodukts. Bei fertigen Gebäuden ist es oft nicht leicht zu ergründen, ob ein bestimmtes Bauteil aufgrund seiner Funktion oder aufgrund seiner konstruktiven Anforderungen so entworfen wurde oder ob es nur dem reinen Formwillen entsprang. Die getrennte Betrachtung nach Funktion, Konstruktion und Form ist in diesem Sinn auch ein wichtiger Leitfaden für dieses Buch.

Ein erhebliches Problem für die Erforschung und Interpretation der Cheops-Pyramide ist der riesige zeitliche Abstand. Über 4500 Jahre trennen uns von der Erstellung dieses Bauwerks. Es gibt keinerlei Aufzeichnungen aus dieser Zeit und auch keine Fundstücke, die Aufschluss über den Bau und die Interpretation seiner inneren Räumlichkeiten geben könnten. Nur der Bau selbst und seine leeren Räume können Auskunft geben über die Gedanken, die diese Pyramide entstehen ließen. Abbildung 1 macht die zeitlichen Dimensionen deutlich. Die ägyptische Baugeschichte umfasst mehr als 2500 Jahre und ist damit etwa ebenso lang wie die gesamte europäische Baugeschichte von der griechischen und römischen Antike bis in unsere Zeit.[2] Das Pyramidenzeitalter nimmt davon rund 1000 Jahre ein und fällt in die Epochen des Alten und Mittleren Reichs. Besonders bemerkenswert ist der Umstand, dass die Cheops-Pyramide als größte aller Pyramiden gleich am Anfang dieses Zeitalters entstand, während man später nur noch sehr viel kleinere errichtete. Zudem beeindruckt die absolute Größe des Bauwerks, was durch einen maßstäblichen Vergleich



mit einigen bedeutenden Bauwerken der europäischen Baugeschichte besonders deutlich wird. Der bauliche Zustand der Cheops-Pyramide ist erstaunlich gut. Sieht man vom Steinraub ab, dem bis zum 16. Jahrhundert n. Chr. die gesamte äußere Verkleidung zum Opfer fiel, und lässt man auch die punktuellen Eingriffe der Grabräuber in die innere Bausubstanz unberücksichtigt, haben wir ein völlig intaktes Gebäude vor uns. Hier wurde nichts, wie bei den meisten Bauten der Antike, ergänzt oder wieder aufgebaut und rekonstruiert, für die Bauanalyse ein wichtiger Gesichtspunkt. Alles ist original.

Eine umfassende Analyse der Cheops-Pyramide nach Funktion, Konstruktion und Form ist ohne genaue Planunterlagen kaum möglich. Die vorliegende Bauwerksanalyse sowie der überwiegende Teil der Zeichnungen des Autors stützen sich auf die umfangreiche Bauaufnahme der italienischen Ägyptologen Vito Maragioglio und Celeste Rinaldi, die Anfang der 1960er-Jahre die Pyramide vermessen, kartiert und beschrieben haben.[3] Der zeichnerische Teil der Bauaufnahme besteht aus zehn großformatigen Blättern (ca. 1,10 x 0,80 m) mit rund 100 einzelnen Plandarstellungen wie Grundrissen, Schnitten und Ansichten, durchweg in den Maßstäben M.1:200 für die Übersichtszeichnungen, M.1:50 für die Kammern und Gänge und M.1:20 für die zahlreichen Details. Dazu gibt es einen rund 100 Seiten umfassenden Textteil, in dem die Autoren die Plandarstellungen erläutern, zusätzliche Befunde beschreiben und theoretische Überlegungen zu einzelnen Sachverhalten anstellen. Die Pläne wurden maßgetreu digitalisiert und bilden die Grundlage für die Plandarstellungen des Autors. Diese sind durchweg in festen und gebräuchlichen Maßstäben wiedergegeben, sodass bei näherem Interesse auch nicht vermaßte Strecken hinreichend genau abgemessen werden können. Wertvolle Ergänzungen lieferten die Zeichnungen des französischen Architekten Gilles Dormion[4], vor allem für die Wandoberflächen im Bereich der Königinnenkammer, deren Fugenbild Maragioglio und Rinaldi aufgrund damals noch vorhandener Salzverkrustungen nicht vollständig kartieren konnten.

Das Buch gliedert sich in drei große Teile, das äußere Erscheinungsbild der Pyramide, das innere Gang- und Kammersystem sowie eine alles umfassende Theorie. Dabei bilden Funktion, Konstruktion und Form den Leitfaden sowohl für die Bauwerksanalyse als auch für die theoretischen Überlegungen. Die oft allein im Vordergrund stehende Frage des ungeklärten Transports der tonnenschweren Steinblöcke in große Höhen ist dabei nur ein Punkt unter mehreren, wenn auch ein wichtiger. In 24 Kapiteln wird der Leser Schritt für Schritt an die Entschlüsselung des Bauwerks herangeführt. Jedes Kapitel behandelt eine in sich abgeschlossene Thematik und endet jeweils in einem kurzen Fazit, das vor allem auf den gewonnenen Erkenntniszuwachs abhebt. Zahlreiche Rückverweise auf Abbildungen vorangegangener Kapitel erleichtern das Verständnis auch beim Querlesen oder Überspringen einzelner Abschnitte. Untersuchungsgegenstand ist ausschließlich die Cheops-Pyramide. Andere Bauwerke der ägyptischen und europäischen Baugeschichte werden nur insoweit in die Betrachtung mit einbezogen, als sie durch Rückschlüsse auf das Bauwerk oder als Vergleich mit der Cheops-Pyramide von Nutzen sind. Auch geschichtsbezogene Ereignisse werden in diesem Sinn nur gestreift.

Bernhard Kerres

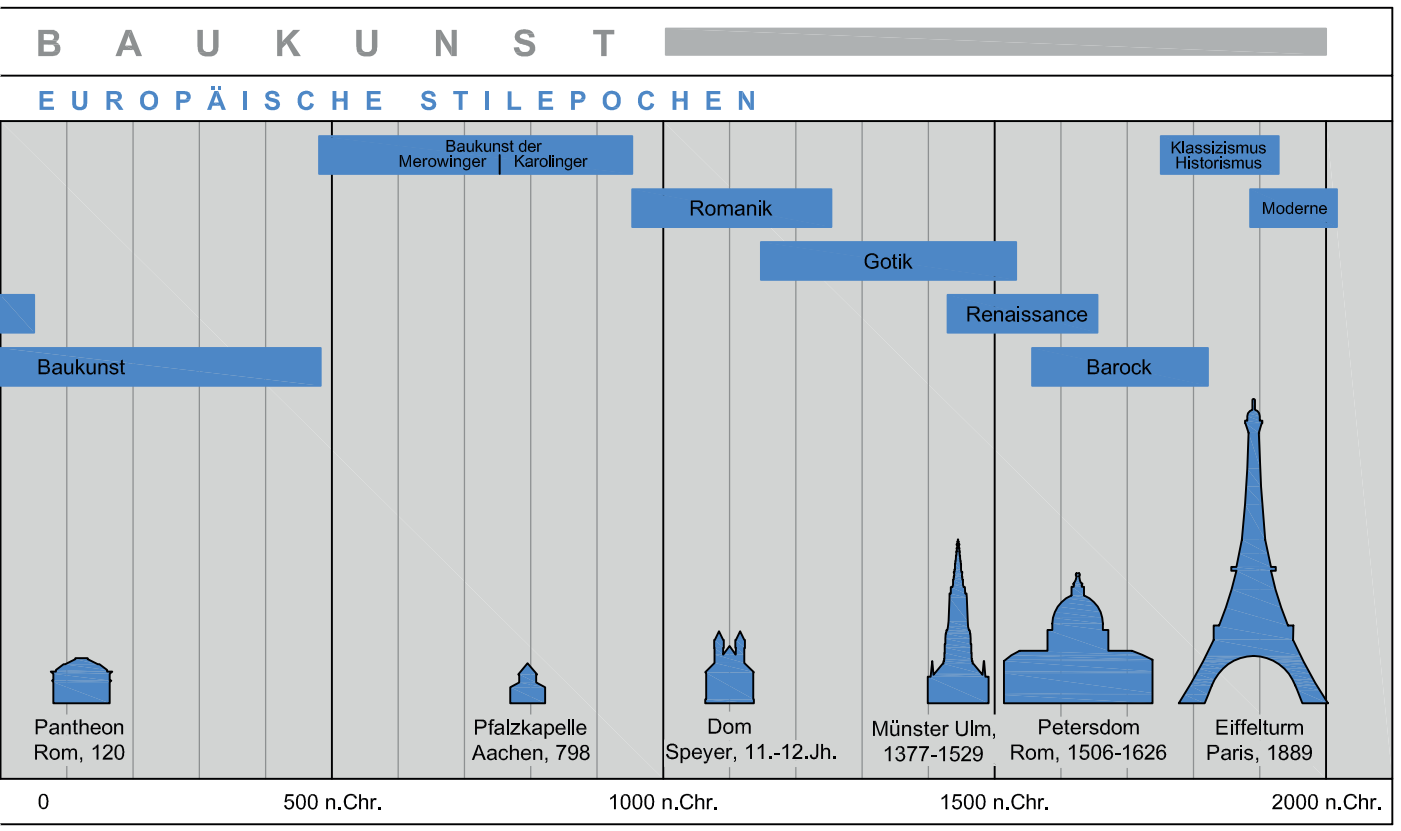


Abb. 1: Der chronologische Überblick über 5000 Jahre Baukunst verdeutlicht die zeitlichen Dimensionen, die uns vom Bau der Cheops-Pyramide trennen. Die ägyptische Baugeschichte (gelb) umfasst mehr als 2500 Jahre und ist damit etwa ebenso lang wie die gesamte europäische Baugeschichte (blau) von der griechischen und römischen Antike bis in unsere Zeit. Die Cheops-Pyramide als größte aller Pyramiden steht erstaunlicherweise schon am Anfang des rund 1000-jährigen Pyramidenzeitalters. Beeindruckend ist auch ihre absolute Größe im maßstäblichen Vergleich mit einigen Großbauten der europäischen Baugeschichte.

Inhaltsverzeichnis

TEIL I
DAS ÄUSSERE BILD DER PYRAMIDE

Die Funktion

1. Die Pyramide als Grabstätte

Streben nach Unsterblichkeit 16
Die Mastaba 19
Die Königs-Mastaba 20
Von der Mastaba zur Stufenpyramide 21
Die drei Pyramiden des Snofru 23
Funktionale Gemeinsamkeiten 24

2. Die Pyramide als Mittelpunkt einer Stadtanlage

Die neue städtebauliche Figur 26
Die Abweichungen bei der Führung des Aufwegs 27
Die Nekropole von Gizeh 27
Vom Taltempel zur Pyramide 30
Ein Größenvergleich 33
Die funktionalen Unterschiede 35

Die Konstruktion

3. Statik und Struktur

Der frühe Höhenrekord 38
Das Problem des Gewichts 38
Die verborgene innere Struktur 39
Die unterschiedlichen Bauweisen 40

4. Das äußere Mauerwerk

Die Struktur 45
Die Steinlagen 46
Die Arbeit im Steinbruch 50
Das Fugenbild 51

5. Die messtechnische Kontrolle

Das Grundproblem 53
Messtechniken 55
Maßeinheiten und Maße 56
Ständige Kontrolle 57
Die Bedeutung der Mitte 58

Die Form

6. Die geometrische Formel

Die immer gleiche Form 62
Die platonischen Körper 63
Die Zahlensymbolik 65

7. Die Wahl des Neigungswinkels

Der Pyramidenvergleich 66
Die unerwarteten Unterschiede 67
Die drei Winkel 69
Die verfehlte Idealform 71

8. Das Geheimnis um die Zahl Pi

Fakten und Theorien 73
Die wahren Zusammenhänge 73
Die Quadratur des Kreises 74
Ein kleiner Abschweif zu Phi 74

TEIL II
DAS INNERE GANG- UND KAMMERSYSTEM

Gesamtüberblick

9. Das Grundgerüst des Gang- und Kammersystems

Standortbestimmung 80
Der Absteigende Gang mit Felsenkammer 80
Der Aufsteigende Gang 83
Der Horizontale Gang mit Königinnenkammer 84
Die Große Galerie 85
Die Königskammer 86
Eine erste Gesamtbetrachtung 87

10. Die übrigen Gänge und Hohlräume

Der sogenannte Fluchtschacht 90
Der Grabräubertunnel 93
Die weiteren Schächte 94
Die sogenannten Entlastungskammern 96
Die sogenannten Luftschächte 98

11. Der innere Felskern

Theoretische Überlegungen 100
Überprüfung am Gelände 101
Überprüfung am Bauwerk 104

12. Die freie Mitte

Die Schwierigkeit der Mitte-Bestimmung 106
Größe und Positionierung eines inneren Schachts 107
Die weiteren Funktionen des Schachts 108

Detaillierte Betrachtung

13. Die Königskammer

Der Sarkophag 115
Die Oberflächen des Raums 115
Die Grundrissgeometrie 118
Die Raumgeometrie 118
Die Raumwirkung 121
Die Konstruktion 122

14. Die Große Galerie und der Aufsteigende Gang

Das Maßsystem 126
Größe und Anzahl der Blockiersteine 127
Die 50-fache Nischenkombination 129
Das Langloch-Prinzip 130
Die Konstruktion des „Deckels“ 132
Die Große Treppe 134
Der architektonische Raum 138
Die Verschlussmechanik 140
Die Konstruktion der Galerie 143

15. Der Horizontale Gang und die Königinnenkammer

Überblick 147
Ein Grabräuber-Szenario 148
Die unterschiedlichen Maßsysteme 148
Der Horizontale Gang 149
Die Königinnenkammer 152
Das neue Bild der Kammer 155

16. Der Absteigende Gang und die Felsenkammer

Überblick 158
Das Eingangsbauwerk 160
Die Abzweigung zum Aufsteigenden Gang 162
Der sogenannte Fluchtschacht 163
Die Felsenkammer 165

TEIL III
DIE THEORIE

Umfassende Bauwerksanalyse

17. Die Funktion

Ausgangsbasis 170
Der Weg zur Grabkammer 172
Der Schacht im Opferraum 174
Der Nischengang in der Königinnenkammer 176
Das neue Bild des Gang- und Kammersystems 178
Die Königinnenkammer als Einweihungsort 181

18. Die Konstruktion

Die Schalenbauweise 184
Die Kammerbauweise 186
Mauerwerksstrukturen 187
Das verborgene Raster 188
Das Raster im Grundriss 190
Das Raster im Aufriss 192
Das Pyramidion und die Hohe Stufe 194
Die überlagerten Strukturen 195

19. Die Form

Rückblick 200
Abmessungen und Proportionen 200
Das Maßsystem der Königskammer 201
Die Tetraktys 204

Der Bau der Pyramide

20. Der Ablauf der Baustelle

Vorbemerkung 208
Die Zahl der tonnenschweren Steine 210
Das Mauern in der Fläche 212
Das Mauern im Detail 214
Der Arbeitsablauf an der Peripherie der Baustelle 217
Eine erste Bilanz 217
Die Sonderbaustellen 219
Die Bauzeiten im Überblick 220
Die Baumaterialien 222

21. Das Problem der schweren Lasten

Der Steintransport in der Ebene 224
Die Rampentheorien 226
Rampen aus physikalischer Sicht 228
Die Stufentheorien 233
Die Wassertheorien 235
Bewertung und Folgerungen 237

22. Der Transport der Steinblöcke

Die unterschätzten Fähigkeiten der alten Ägypter 241
Das Lehrstück Abu Simbel 244
Der Gegengewichtsaufzug 247
Der Wechselaufzug 248
Die Berichte des Herodot 250
Das Grundprinzip des Steintransports 253
Die Konstruktion des Wechselaufzugs 257
Der Einsatz des Aufzugs im Bauverlauf 259
Das Aufsetzen des Pyramidions 262
Resümee 264

23. Die Beisetzung des Pharaos

Der Bauzustand bei Cheops‘ Ableben 266
Der Zustand der inneren Räumlichkeiten 270
Ein möglicher Ablauf der Totenfeier 271
Der Verschluss der Pyramide 276
Die Zeit danach 277

24. Zusammenfassung

Die Funktion 281
Nachtrag Felsenkammer 282
Die Konstruktion 284
Die Form 286
Der Bauprozess 287
Ausblick 289

TEIL II
DAS INNERE GANG- UND KAMMERSYSTEM

Abb. 267 rechts: Ludwig Borchardt stellte im Jahr 1932 die Theorie auf, das Innere der Cheops-Pyramide bestünde aus schräg nach innen geneigten Mauerscheiben, die schalenartig einen schrägen Mittelturm umhüllen. Seine These hatte Borchardt aus seinen Untersuchungen an der Pyramide von Meidum gewonnen (vergl. Abb. 53 u. 54), deren Ergebnisse er sinngemäß auf die Cheops-Pyramide übertrug. Seine These konnte jedoch durch nichts belegt werden und ist zudem äußerst unwahrscheinlich.

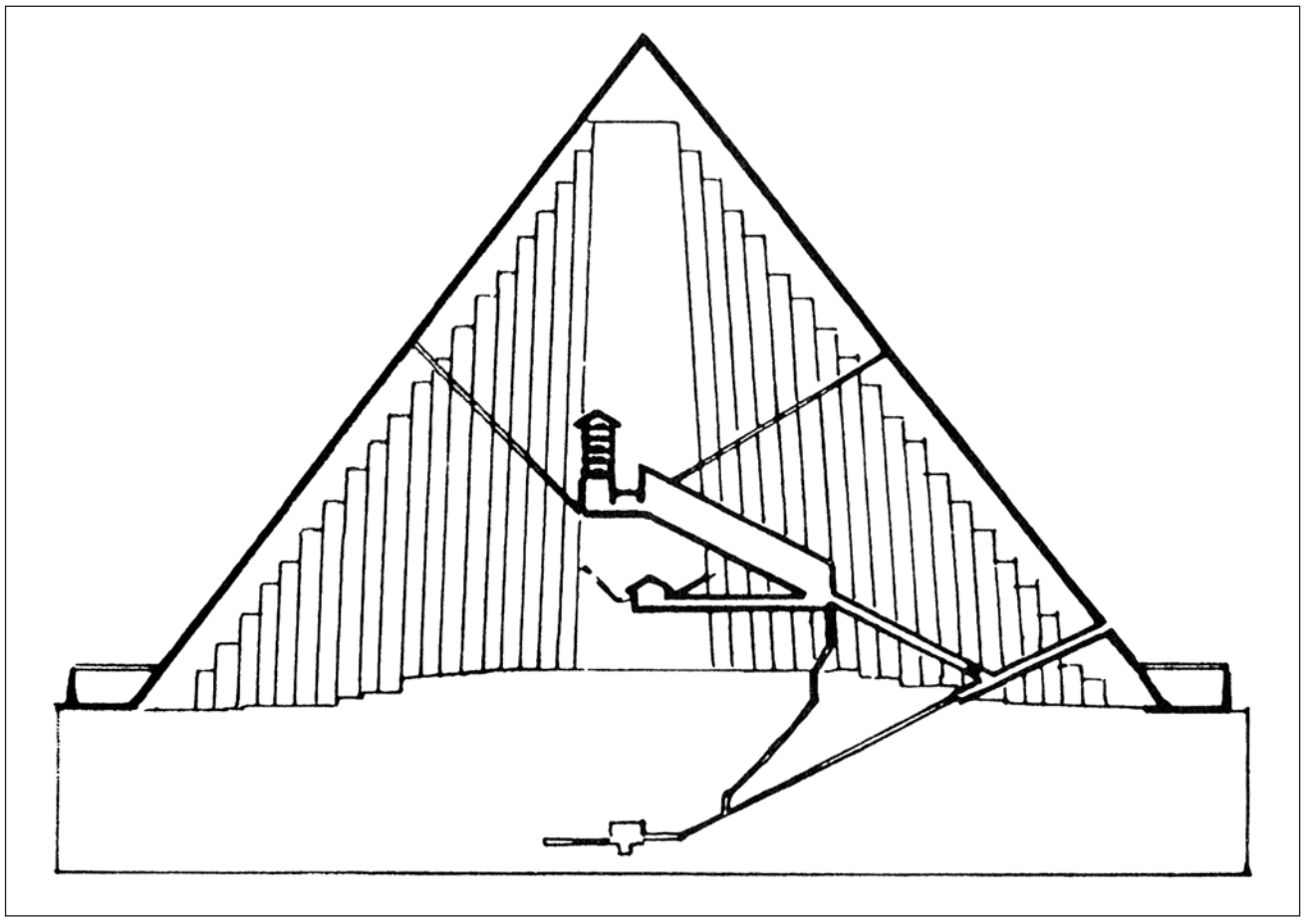
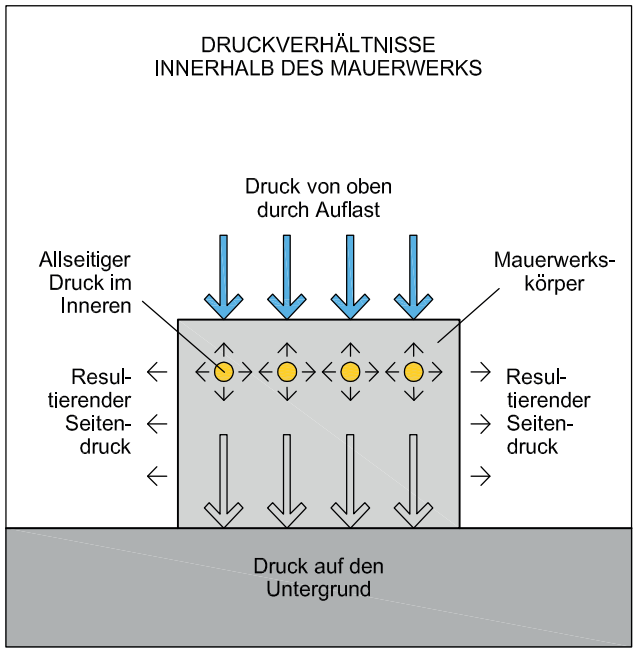


Abb. 268 unten: Wie in Gasen und Flüssigkeiten breitet sich auch in festen Körpern ein Druck auf das Medium im Inneren allseitig aus. Dies verdeutlicht die unten stehende Schemazeichnung. Wird auf den Mauerwerkskörper von oben Druck ausgeübt, verteilt sich der Druck im Inneren nach allen Seiten, hier im Schaubild durch vier Punkte (gelb) idealisiert dargestellt. Kritisch ist der entstehende Seitendruck. Während sich im Inneren des Steinvolumens die seitlichen Drücke gegeneinander aufheben, kommt es an den Außenseiten zu einem mehr oder weniger ausgeprägten Schub, dem die Außenwand widerstehen muss. Je höher die Auflast, desto stärker der seitliche Druck auf das Außenmauerwerk.



18. Die Konstruktion

Wir hatten uns bereits im Kapitel „Statik und Struktur“ mit den inneren Strukturen der großen Königsmastabas und Stufenpyramiden befasst. Dabei wurde deutlich, dass die beiden Gebäudetypen unterschiedliche innere Strukturen aufweisen. Die großen Mastabas bestehen aus einer Vielzahl von einzelnen Kammern, deren für die Grabstätte nicht benötigte Hohlräume zur Stabilisierung mit Schotter oder Sand verfüllt wurden (vergl. Abb. 50). Bei der ursprünglich als Stufenpyramide konzipierten Pyramide von Meidum hingegen wurde durch den Einsturz großer Gebäudeteile eine völlig andere innere Struktur sichtbar. Sie besteht aus schräg gemauerten Wandscheiben, die vierseitig um einen inneren Kern Schicht für Schicht schalenartig vorgebaut wurden (vergl. Abb. 53 u. 54). Im Hinblick auf die unbekannte innere Struktur der Cheops-Pyramide hatten wir die Hoffnung geäußert, dass sich möglicherweise durch eine genaue Analyse des inneren Gang- und Kammersystems Hinweise auf den strukturellen Aufbau des Bauwerks als Ganzes ergeben würden. Diese Hoffnung hat sich leider nicht erfüllt. Die Analyse des inneren Mauerwerks hat zu der Erkenntnis geführt, dass fast alle im Inneren der Pyramide sichtbaren Wände eigenständige Konstruktionen sind, die unabhängig von dem dahinter liegenden Kernmauerwerk errichtet wurden. Dabei erfüllen diese Wände teilweise statische Funktionen, wie etwa bei der Königskammer, wo die enormen Lasten der fünf Decken unmittelbar auf den Innenwänden aufliegen, teilweise stellen sie, wie bei der Königinnenkammer, ein reines Verkleidungsmauerwerk dar, das statisch ohne weitere Bedeutung ist.

Die Schalenbauweise

Über die tatsächliche innere Struktur gibt es nach wie vor keine Befunde, sondern nur unterschiedliche Theorien. Ludwig Borchardt stellte im Jahr 1932 im Rahmen einer Veröffentlichung die Theorie auf, das Innere der Cheops-Pyramide sei ebenfalls aus einem System von aufeinanderfolgenden, schräg nach innen geneigten Mauerschichten aufgebaut, die schalenartig einen schrägen Mittelturm umhüllen (Abb. 267). Obwohl diese Theorie durch nichts belegt werden konnte und die meisten Forscher sie auch heute ablehnen, findet sich die Schnittzeichnung immer noch in zahlreichen Publikationen wieder. Die These vom schalenartigen Aufbau der Cheops-Pyramide hatte Borchardt aus seinen Untersuchungen an der Pyramide von Meidum gewonnen, deren Ergebnisse er sinngemäß auf die Cheops-Pyramide übertrug. Wie wir sehen werden, ist sein Analogieschluss wenig wahrscheinlich. Um bis dahin vordringen zu können, ist jedoch eine gewisse Grundkenntnis über die

Hintergründe für die Verwendung von schrägem Mauerwerk erforderlich. Auch ist es notwendig, auf physikalische Phänomene einzugehen, die sich innerhalb eines Mauerwerkskörpers abspielen, wenn dieser durch hohe Auflast unter Druck gesetzt wird.

Im Allgemeinen herrscht die Auffassung vor, dass sorgfältig horizontal geschichtetes und lotrecht übereinander angeordnetes Mauerwerk nur senkrechten Druck, also Druck auf den Untergrund, ausübt. Das ist jedoch nicht so. Druck auf ein bestimmtes Medium, sei es gasförmig, flüssig oder fest, erzeugt im Inneren des Mediums einen Druck, der sich in alle Richtungen gleichermaßen ausbreitet. Dies sei an einem idealisierten Schaubild verdeutlicht (Abb. 268). Wird auf den angenommenen Mauerwerkskörper Druck ausgeübt, sei es durch aufliegende Deckenkonstruktionen oder durch die Last von weiterem aufgehendem Mauerwerk, breitet sich dieser Druck im Inneren des Steinvolumens allseitig aus, hier schematisch für vier unterschiedliche Punkte dargestellt. Der Druck, der sich nach oben richtet, wird durch die sehr viel höhere Auflast kompensiert, derjenige, der nach unten wirkt, unmittelbar in den Boden abgeleitet. Kritisch hingegen ist der sich seitlich ausbreitende Druck. Während sich im Inneren des Steinvolumens die seitlichen Drücke gegeneinander aufheben, kommt es an den Außenseiten zu einem mehr oder weniger ausgeprägten Schub, dem die Außenwand widerstehen muss. Je größer die Auflast oder je höher das Steinvolumen, desto stärker ist der Seitendruck auf das Mauerwerk. Bei sehr hohen Gebäuden, wie den großen Pyramiden, ist der Druck auf die untersten Steinlagen und damit auch der Seitendruck auf die Außenwände entsprechend gewaltig und nicht von ungefähr befinden sich bei der Cheops-Pyramide hier auch die schwersten Steinlagen mit Schichthöhen von 1,0 – 1,5 Metern.

Eine der ältesten Mauerwerkstypen stellen die Stützmauern im offenen Gelände dar. Sie dienen seit alters her der Abstützung von terrassenförmig angelegten Feldern und übernehmen dabei auch die Funktion von klar fixierten Grenzlinien. Sie haben die Aufgabe, den durch die Terrassierung des ursprünglich geneigten Geländes entstehenden Seitendruck auf den Geländeversatz aufzufangen. Dabei ist es vorteilhaft, die Stützmauer nicht nur einfach vor die Böschung zu stellen, sodass sie nur mit ihrem Eigengewicht dem Erddruck widerstehen kann, sondern ihr Mauerwerk mit der dahinter liegenden Erdmasse zu verzahnen. Deshalb ordnet man schichtweise Läufer- und Bindersteine im Wechsel an, sodass zur Hangseite hin eine getreppte und deutlich größere Maueroberfläche entsteht, die sich mit dem Erdmaterial verklammert (Abb. 269). Man kann auch jeweils in einer Steinschicht Läufer- und Bindersteine abwechselnd verlegen, was einen ähnlichen Effekt zur Folge hat. In der Praxis werden bei gebrochenem Material und entsprechend unterschiedlich großen Steinblöcken auch beide Prinzipien miteinander kombiniert, sodass sich in der Wandansicht, wie in der Zeichnung dargestellt, ein freies Spiel von Läufern und Bindern ergibt. Besonders stabilisierend wirken zusätzlich sogenannte Durchbinder oder Ankersteine, die, hin und wieder angeordnet, tief in das Erdreich einbinden und verhindern, dass sich Stützmauer und Erdreich voneinander lösen. Oberstes Ziel ist es, das abzustützende Erdreich mit der Mauer als äußerer Schale fest zu verbinden. Die Mauerschale darf nicht hohl liegen. Vertikal durchgehende Fugen zwischen Mauer und Erdreich können zu unkontrollierten Verschiebungen und schlimmstenfalls zum Einsturz ganzer Mauerabschnitte führen.

Bei sehr hohen Stützmauern nimmt der seitlich wirkende Erddruck entsprechend zu, besonders auf die untersten Steinlagen. Dem begegnet man mit möglichst schweren, also dicken Wandstärken im unteren Teil der Stützmauer, während weiter oben auch eine geringere Stärke ausreicht. Dies führt zu unterschiedlichen Wandstärken je nach Höhenlage und damit entweder zu einer getreppten oder, wie in Abbildung 270 a dargestellt, zu einer nach außen schräg geböschten Mauer. Die Innenseite bleibt dabei stets senkrecht. Noch effektiver ist die Stützwirkung, wenn die gesamte Mauerwerksscheibe in eine Schräglage gebracht wird, sodass sich die Mauer über die erwähnten Verklammerungstechniken hinaus mit einem Teil ihres Eigengewichts gegen die Erdböschung stemmt (Abb. 270 b). Eine schräg gemauerte Böschungswand ist jedoch handwerklich sehr viel schwieriger zu erstellen als eine horizontal geschichtete Mauer. Da sowohl die Stoß- als auch die Lagerfugen in Schräglage geraten, ist ein herkömmliches Mauern mittels horizontal gespannter Schnur und Lot alleine nicht möglich, sodass aufwendigere Messtechniken zur Kontrolle der Schrägen angewendet werden müssen.

Die beiden letztgenannten Mauerwerkstypen führen beide gleichermaßen zu einer nach außen zeigenden Böschungsschräge und sind in ihrem äußeren Fugenbild auch kaum voneinander zu unterscheiden. Ihr innerer Aufbau und ihre statische Wirkung sind jedoch von sehr unterschiedlicher Art. Schräg nach innen geneigtes Mauerwerk hat stets einen statischen Hintergrund, sonst würde man sich die zusätzliche Mühe, die solches Mauerwerk erfordert, nicht machen. Bei horizontal geschichteten, aber schrägen Außenwänden sind die möglichen Motive unterschiedlich. Die Schräge ist über konstruktive Erwägungen hinaus auch oft ein rein architektonisches Stilmittel, um Dauerhaftigkeit und Standfestigkeit ausdrucksstark zu symbolisieren, oder, wie bei den Pyramiden, um einen prismatischen Körper, wie den des halben Oktaeders, überhaupt erst erzeugen zu können. Insofern ist es nicht immer einfach, die Beweggründe für geneigte Mauern zu ergründen. So haben die nach innen geböschten Wände der einfachen Hausmastabas vorwiegend einen statischen Hintergrund und dienen als schräg gemauerte Scheiben der Abstützung des inneren mit Schotter oder Sand aufgefüllten Volumens (vergl. Abb. 49). Bei einigen der großen Königsmastabas hingegen findet man geneigte Außenwände mit so gewaltigen Wandstärken, dass die geringfügige äußere Schräge statisch gesehen praktisch wirkungslos bleibt (vergl. Abb. 50, Schnitt). Hier hat eindeutig der formale Wille den Ausschlag gegeben.

Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse wollen wir nun den Aufbau der Pyramide von Meidum etwas genauer analysieren. Das heutige Aussehen des Bauwerks ist vor allem durch das eindrucksvolle turmartige Gebilde mit schrägen Außenwänden geprägt, umgeben von einer riesigen Schutthalde, die gleichzeitig die Untauglichkeit der gewählten

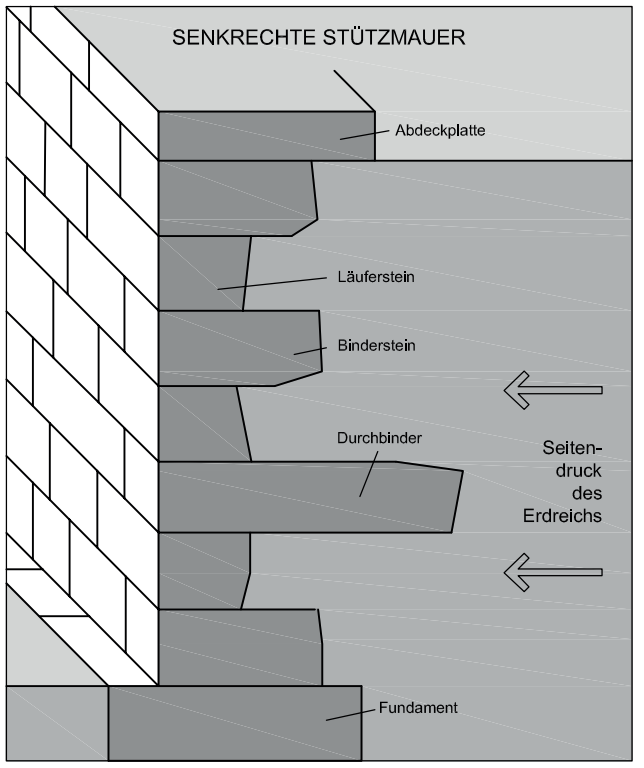


Abb. 269 oben: Bei Stützmauern im Gelände ist es wichtig, Mauer und Erdreich miteinander zu verklammern. Deshalb ordnet man Läufer- und Bindersteine im Wechsel an. Vertikal durchlaufende Fugen zwischen Mauer und Erdreich können zum Einsturz führen. Die Mauer darf nicht hohl liegen.

Abb. 270 unten: Bei sehr hohen Stützmauern nimmt der seitliche Erddruck entsprechend zu. Dem begegnet man mit dickeren Wandstärken im unteren Teil der Mauer, was zu einer schräg geböschten Außenseite führt (a). Noch effektiver ist die Stützwirkung, wenn die gesamte Mauerwerksscheibe schräg errichtet wird (b), sodass sich die Mauer gegen das Erdreich stemmt.

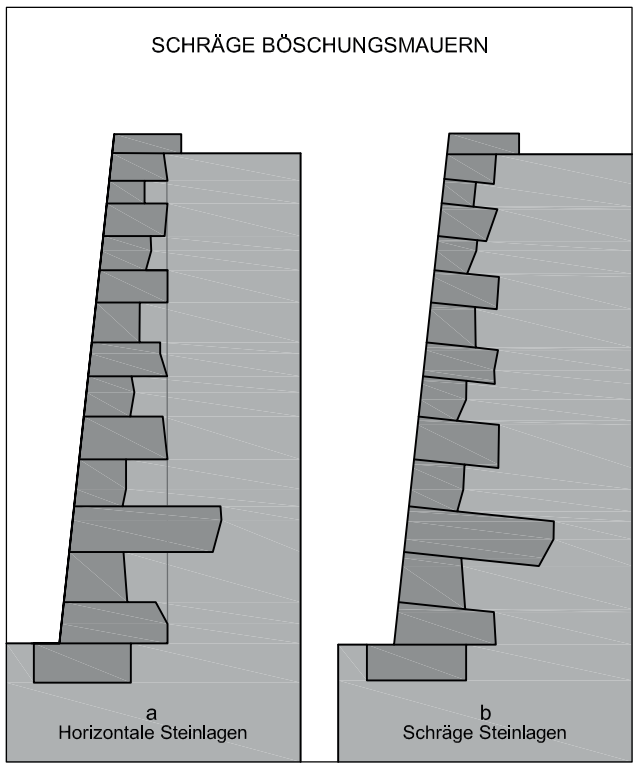
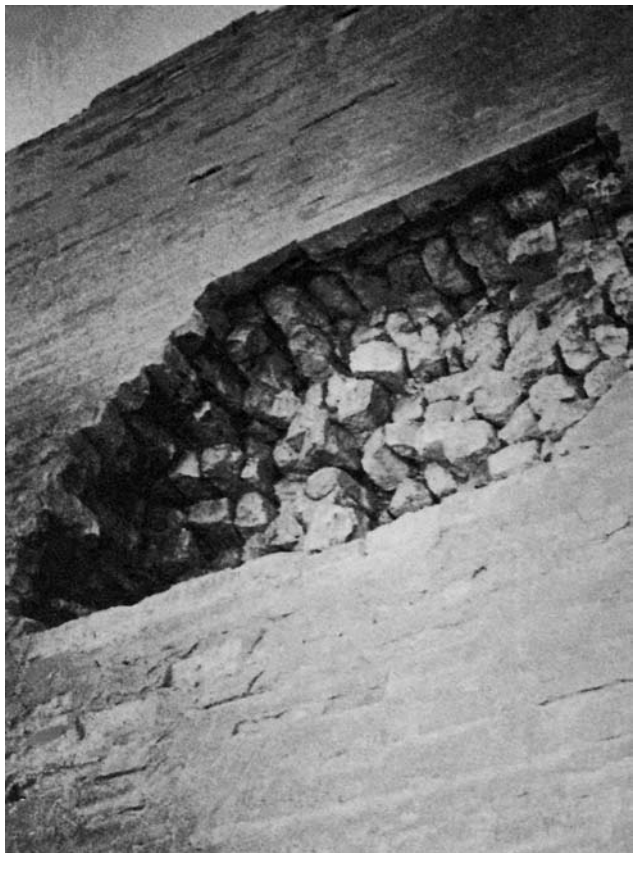


Abb. 271: Das heutige Aussehen der Pyramide von Meidum ist durch ein turmartiges Gebilde geprägt, umgeben von einer riesigen Schutthalde infolge des Einsturzes großer Gebäudeteile. Die abwechselnd horizontal verlaufenden glatten und rauen Bänder erklären sich durch die Erweiterung einer ehemals 7-stufigen zu einer 8-stufigen Pyramide (vergl. Schnitt Abb. 53). Der Versuch, die Stufenpyramide durch eine nachträgliche Verkleidung zu einer echten Pyramide umzuwandeln, scheiterte.

Abb. 272: Ein großes Loch in der Nordwand der Pyramide von Meidum zeigt den Aufbau einer der Gebäudeschalen. Sie besteht aus einer äußeren, im Verband schräg gemauerten Wandscheibe und einer Hinterfüllung aus weitgehend unbehauenen Bruchsteinen. Hier wurde im eigentlichen Sinn nicht gemauert, sondern der innere Hohlraum wurde lediglich mit unregelmäßigen Steinblöcken sorgfältig aufgefüllt.



Konstruktion eindrucksvoll vor Augen führt (Abb. 271). Ein besonderes Phänomen stellen die abwechselnd horizontal angeordneten glatten und rauen Bänder dar, die den Turm ringsum überziehen. Bei den rauen Abschnitten handelt es sich um unbearbeitete Oberflächen, während die glatten Abschnitte geschliffen und poliert sind. Merkwürdig ist vor allem das unterste noch sichtbare glatte Mauerwerksband, das doch ursprünglich durch die nächste gestufte Mauerwerksschale der Pyramide verdeckt war. Wozu poliert man Mauerwerk, das man dann durch weiteres Mauerwerk abdeckt? Borchardt fand heraus, dass das Bauwerk ursprünglich als siebenstufige Pyramide errichtet und dann erst auf eine achtstufige Form erweitert wurde und dass das unterste glatte Band der ersten siebenstufigen Pyramide zuzuordnen ist und später durch eine weitere Schale überdeckt wurde. Er folgerte zudem aus unter dem Schuttberg gefundenen Teilen der Pyramidenbasis, dass man das Bauwerk in einer dritten Bauphase durch Auffüllung der gestuften Ränder zu einer geometrisch echten Pyramide umgewandelt hat oder umwandeln wollte.[27] Kurt Mendelssohn, der ebenfalls dieser Überzeugung ist, vermutet nach Analyse des kreisförmig um den Pyramidenstumpf ausgebreiteten Schuttkegels und entsprechenden Modellversuchen ein plötzliches und schlagartiges Ereignis, das die Pyramide noch vor endgültiger Fertigstellung der letzten Außenhaut zum Einsturz brachte.[28] Ob nun, wie Mendelssohn glaubt, ein seltener starker Regen die einzelnen Schalen hinterspülte und so zum Abrutschen brachte oder ob ein Erdbeben das Schalengebilde kräftig durchschüttelte, sei dahingestellt. Die Interpretation des heutigen Zustands als Folge eines plötzlich erfolgten Einsturzes großer Gebäudeteile scheint jedenfalls schlüssig (vergl. Abb. 53).

In Anbetracht der bei der Pyramide von Meidum angewandten Mauerwerkstechnik kann der Einsturz allerdings kaum verwundern. Ein großes Loch in der Nordwand des Bauwerks gestattet einen Blick in den inneren Aufbau einer der getreppten Schalen (Abb. 272). Sie besteht aus einer im Verband schräg gemauerten äußeren Wandscheibe und einer Hinterfüllung aus weitgehend unbehauenen Bruchsteinen. Die Struktur der Blöcke verdeutlicht, dass hier im eigentlichen Sinn nicht gemauert wurde, sondern der Hohlraum lediglich sorgfältig mit unregelmäßigen Steinblöcken aufgefüllt wurde. Zwar hat das Füllvolumen mit der äußeren Mauerwerksscheibe einen gewissen Verbund, zur Rückseite aber wurden die Bruchsteine offenbar unmittelbar an die bereits aufgemauerten Außenseiten der dahinter liegenden Schale angelehnt. Man hat noch nicht einmal die bereits polierten Flächen der ehemals siebenstufigen Pyramide aufgeraut, als man später die weiteren Schalen des achtstufigen Bauwerks darüberlegte. So entstanden großflächige vertikale Fugen zwischen den getreppten Mauerwerkspaketen und die Mauerscheiben erhielten ihre Stabilität ausschließlich durch Anlehnung an den inneren schrägen Turm. Jegliche Verbundwirkung der Scheiben oder Schalen untereinander fehlte. Das Konstruktionsprinzip des schalenartigen Aufbaus um einen inneren Turm wird oft mit Zwiebelschalen verglichen. So wie die hauchdünnen Zwiebelschalen aneinandergelegt eine stabile Form erzeugen, so sieht man in den sich schräg nach innen aneinandergelegten Mauerwerksscheiben eine nachhaltige Stabilisierungsmaßnahme. Dies ist aber ein Irrtum. Schalen im statischen Sinn sind stets gekrümmt und erhalten erst durch die Krümmung ihre Stabilität. Ein dünnes, ebenes Blättchen von der Konsistenz einer Zwiebelschale, die Natur stellt ein solches Produkt bezeichnenderweise erst gar nicht her, flattert und verbiegt sich bei Krafteinwirkung nach Belieben, und das ändert sich auch kaum, wenn man mehrere Blättchen übereinanderlegt. Flache Schalen wie die von Meidum sind bei Bauwerken dieser Größe völlig ungeeignet, wenn sie nicht miteinander verzahnt werden. Durchgehende senkrechte Fugen innerhalb des Mauerwerks gelten als handwerkliche Todsünden und solchermaßen erstellte Bauwerke sind vom Einsturz bedroht. Grundsätzlich fragwürdig sind die inneren Schalen auch in ihrer Funktion als schräge Stützmauern, da sie nur an den Außenseiten erforderlich wären. Im Inneren heben sich die seitlich wirkenden Schubkräfte weitgehend gegeneinander auf, sodass die inneren Schalen nach Fertigstellung des Bauwerks eigentlich keine Stützfunktion benötigen und auch senkrecht hätten errichtet werden können. Die geneigten Mauerwerksschalen im Bauwerksinneren sind aus statischer Sicht keinesfalls nachteilig, aber unnötiger Mehraufwand. Der entscheidende Fehler bei der Schalenbauweise ist der fehlende Verbund der einzelnen Wandscheiben untereinander. Dies brachte die Pyramide von Meidum zum Einsturz.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass mit der Pyramide von Meidum offensichtlich das Ende eines Konstruktionsprinzips erreicht war, bei dem Techniken mit schräg nach innen fallenden Steinlagen zum Einsatz kamen. Mit dem Einsturz dieses Gebäudes muss den Fachleuten klargeworden sein, dass man hohe Gebäude nur sicher erstellen kann, wenn man horizontale Steinlagen Schicht für Schicht aufbaut. Bezeichnenderweise haben alle späteren Pyramiden, bis auf die Verkleidung der Knickpyramide im unteren Abschnitt, horizontal geschichtete Außenmauern, und man muss davon ausgehen, dass sich das im Inneren auch so fortsetzt. Horizontal gemauerte Steinschichten außen und schräge Böschungsmauern im Inneren wären statisch geradezu doppelt sinnlos.

Die Kammerbauweise

Borchardts Erkenntnisse vom schalenförmigen Aufbau der Pyramide von Meidum wurden in der Folge auf sämtliche Stufenpyramiden übertragen. Während die geringen Überreste der beiden Stufenpyramiden der Könige Sechemchet und Chaba (vergl. Abb. 17 B u. C) dieses Prinzip nahelegen, ist bei der einzig vollständig erhaltenen Stufenpyramide, der des Königs Djoser in Sakkara, der innere Aufbau keinesfalls sicher. Sie wurde im Prinzip in drei jeweils zeitlich voneinander getrennten Bauphasen erstellt (vergl. Abb. 13). Man weiß das deshalb so genau, weil Grabräuber beim Eindringen in das Bauwerk Teile der inneren Struktur freilegten und sich dadurch die einzelnen Bauabschnitte ablesen lassen. Die erste Bauphase war die Errichtung ei-

ner überraschenderweise nicht rechteckigen, sondern quadratischen Großmastaba. Ihre Außenwände wurden aus weißem Kalkstein sorgfältig errichtet und ihre Oberflächen geglättet, sodass man von einem in dieser Form endgültig geplanten Gebäude ausgehen muss. Danach ist wohl erst der Gedanke entstanden, durch Stapelung mehrerer und von Etage zu Etage kleiner werdender Mastabas eine völlig neue Bauform zu erschaffen, die dem königlichen Baumeister Imhotep zu unsterblichem Ruhm verhalf. Um diesen Gedanken in die Tat umzusetzen, hat man die schon fertige Mastaba mit einem Steinkranz ummantelt und nach Osten erweitert, sodass eine rechteckige Mastabaform entstand. Erst dann begann man mit dem Bau einer ersten vierstufigen Pyramide. Dabei stülpte man die Stufenpyramide wie eine Glocke über die ursprüngliche Mastaba und hüllte sie damit vollständig ein, was ein wenig an die Vorgehensweise beim Bau der Cheops-Pyramide über dem inneren Felskern erinnert. Später wurde das Bauwerk in einem dritten Bauabschnitt nach Norden und Westen erweitert und auf eine sechsstufige Pyramide erhöht.

Aus der Schräglage aller von außen sichtbaren Mauern schließen die Forscher nun, dass sich die schrägen Böschungsmauern, wie bei der Pyramide von Meidum, auch hier im Inneren des Bauwerks fortsetzen und sich an einen inneren, konisch sich nach oben verjüngenden Turm anlehnen (vergl. Abb. 51). Dies erscheint aber eher unwahrscheinlich. Da ursprünglich eine traditionelle Großmastaba geplant war und diese auch nachweislich samt Glättung der Außenwände fertiggestellt wurde, muss man davon ausgehen, dass sie auch so konstruiert wurde wie ihre Vorgängerbauten, nämlich mit einem Kammersystem aus senkrecht gemauerten Wänden und Verfüllungen aus Schotter oder Sand (vergl. Abb. 8 und 50). Die kranzförmige Ummantelung zu Beginn der zweiten Bauphase diente offensichtlich nicht nur der Erweiterung zu einem rechteckigen Grundriss, sondern auch der Verstärkung der Außenmauern im Hinblick auf die höhere Auflast der geplanten Aufstockung. Der Gedanke einer Stufenpyramide war noch nicht geboren, sonst hätte man auf der quadratischen Mastaba aufgebaut. Der Plan Imhoteps war die Stapelung von Mastabas. Wieso also sollte er sich in diesem Entwicklungsstadium dazu entschlossen haben, auf einer mit senkrechten Mauern errichteten Gebäudestruktur mit schräg nach innen geneigten Wänden weiterzubauen? Logischer scheint es anzunehmen, dass jede einzelne der gestapelten Mastabas so aufgebaut ist, wie Großmastabas traditionell konstruiert wurden, nämlich mit rasterförmig angeordneten senkrechten Innenwänden, deren Zwischenräume untereinander lediglich verfüllt wurden, und umgeben von einer sehr viel dickeren äußeren Böschungsmauer zur Aufnahme der seitlichen Schubkräfte. Wenn man dies unterstellt, ergibt sich ein völlig anderer struktureller Aufbau der Stufenpyramide, wie in Abbildung 273 für die vierstufige Version des zweiten Bauabschnitts schematisch dargestellt. Es entsteht ein rasterförmig und orthogonal aufgebautes mehrstöckiges Kammersystem, das schräge Böschungswände nur noch in den Außenwänden benötigt. Für diese Theorie spricht auch der Umstand, dass die Pyramide von Sakkara die einzige aller Stufenpyramiden ist, die die Jahrtausende weitgehend unbeschadet überstanden hat.

Ein derartig aufgebautes Kammersystem hat jedoch gegenüber der Schalenbauweise den Nachteil, dass es sich nicht ohne Weiteres erweitern lässt. So kam es bei der Vergrößerung der vierstufigen zu einer sechsstufigen Pyramide an der Nahtstelle zwangsläufig zur Kollision mit der unterschiedlichen Geometrie der beiden Abschnitte. Sollte man die äußeren Schrägen wieder abbrechen und das senkrechte Kammersystem fortsetzen oder mauerte man einfach an den vorgegebenen Außenwänden des zweiten Bauabschnitts in Schräglage weiter? Möglicherweise ist durch dieses Problem der Fügung erst der Gedanke entstanden, bei den künftigen Stufenpyramiden eine Konstruktionsweise zu wählen, die sich problemlos erweitern lässt, und man ist so zur Schalenbauweise gelangt. Was aber auch immer die Baumeister dazu veranlasst hat, die gesicherte Basis des Konstruierens von Gebäuden mit senkrechten Wänden und horizontalen Steinlagen zu verlassen, die Katastrophe von Meidum hat diesen Irrweg schlagartig beendet. Fortan baute man offensichtlich nur noch mit horizontalen Steinlagen.

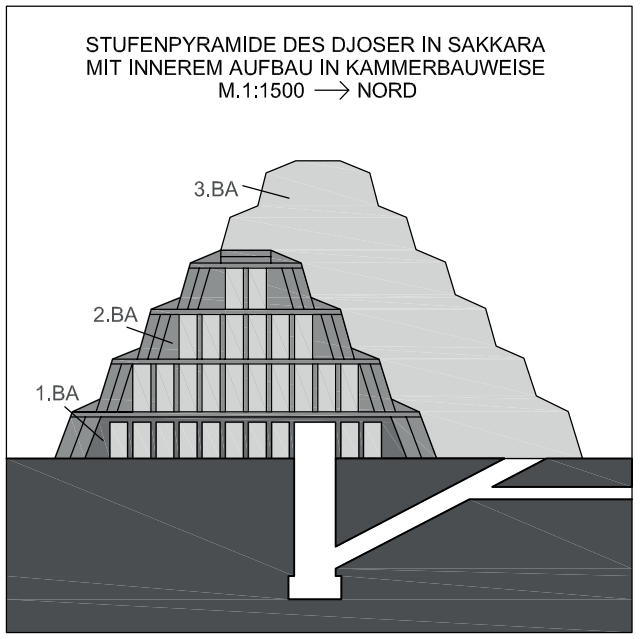


Abb. 273: Hypothetischer Schnitt durch den ersten und zweiten Bauabschnitt der Stufenpyramide von Sakkara-Nord (vergl. Abb. 13). Einer bereits fertiggestellten Mastaba (1. BA) wurde nachträglich ein Gebäude übergestülpt, das aus drei weiteren, übereinandergestapelten Mastabas besteht (2. BA). Es ist naheliegend, anzunehmen, dass Baumeister Imhotep dabei die aus senkrechten Wänden bestehende Grundstruktur der ursprünglichen Mastaba nach oben weiterführte. Dies steht jedoch in Gegensatz zur gängigen Meinung, nach der das Innere auch dieser Stufenpyramide aus nach innen geneigten Mauerwerksschalen besteht (vergl. Abb. 51).

Mauerwerksstrukturen

Die Cheops-Pyramide ist an den Außenseiten aus einzelnen horizontalen Steinlagen erbaut. Da es, wie dargelegt wurde, statisch widersinnig wäre, das Prinzip der horizontalen Lagen im Inneren des Bauwerks grundsätzlich zu ändern, muss auch im Bauwerksinneren von horizontal gemauerten Steinschichten ausgegangen werden. Dies ist heute auch die Meinung der meisten Forscher. Allerdings herrscht die Auffassung vor, dass die einzelnen Steinlagen vollständig über die gesamte Gebäudefläche durchgemauert wurden und dass das Bauwerk bis auf die Hohlräume der Kammern und Gänge komplett aus massiven Steinblöcken besteht. Manche Autoren meinen sogar, dass sich die von außen sichtbaren und bewundernswert perfekt gefügten Mauersteine mit millimeterdünnen Fugen auch im inneren Kernmauerwerk fortsetzen. Wie die folgenden Überlegungen zeigen, ist diese Annahme jedoch sehr unwahrscheinlich.

Das Grundprodukt allen Mauerns bei Gebäuden ist die senkrecht errichtete Mauerwerkswand. Von den unzähligen Methoden, solche Wände fachgerecht herzustellen, sollen im Folgenden nur diejenigen betrachtet werden, die, wie bei der Cheops-Pyramide, mit horizontalen Steinlagen und mit jeweils gleich hohen Blöcken in einer Schicht ausgestattet sind. Einschalige Mauern sind tatsächlich durchgehend massiv. Sie bestehen aus im Verband gemauerten Läufer- oder Bindersteinen oder aus einer Kombination beider Verlegearten. Geht die Mauerstärke über das Maß der verwendeten Steinblöcke hinaus, wird die Mauer zweischalig. Dabei werden von beiden Seiten gleichzeitig zwei getrennte Mauerwerksschalen errichtet, deren innere Hohlräume mit Steinbrocken, Sand oder Mörtel verfüllt werden (Abb. 274). Läufer- und Bindersteine werden beidseitig im Wechsel angeordnet, sodass sich die Steine im Inneren teilweise überschieben und damit ein Auseinanderdriften der beiden

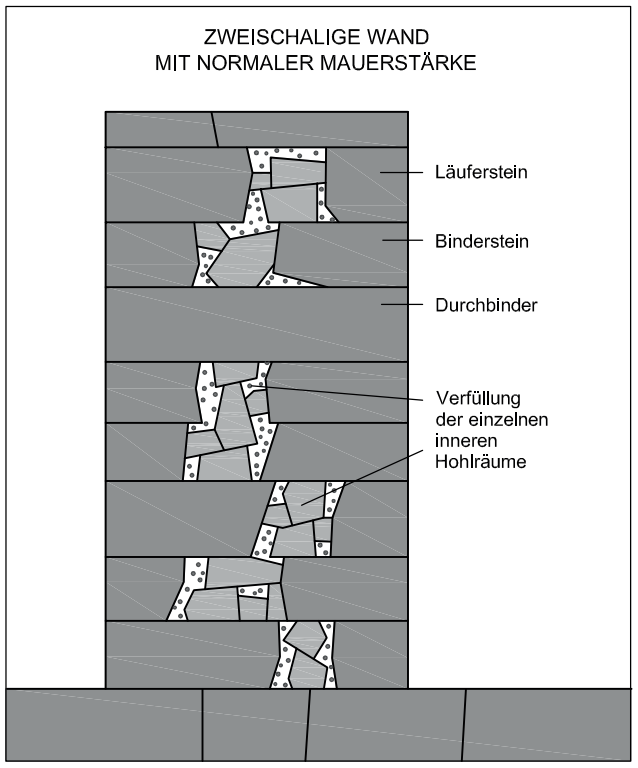
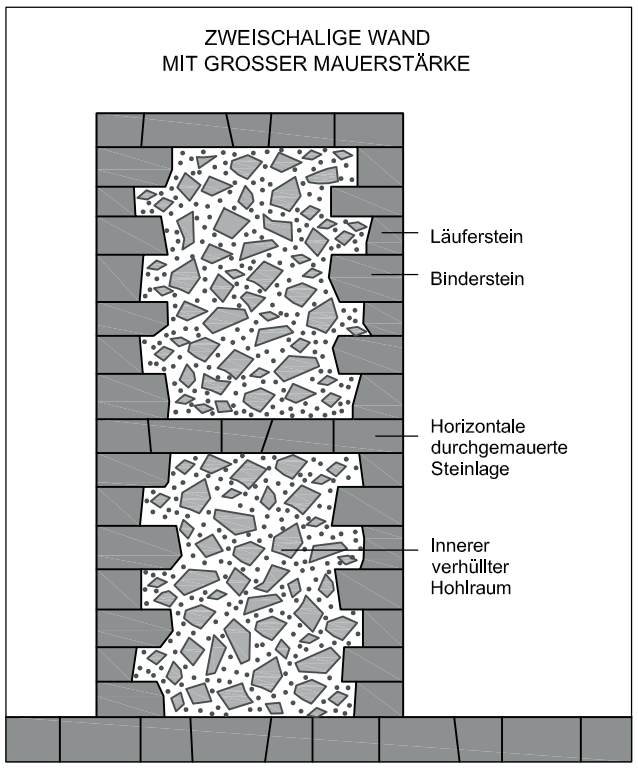


Abb. 274 oben: Bei einer zweischaligen Wand aus gebrochenem Naturstein werden von beiden Seiten gleichzeitig zwei getrennte Mauerwerksschalen errichtet, deren innere Hohlräume mit Steinbrocken, Sand oder Mörtel verfüllt werden. Die beidseitig im Wechsel angeordneten Läufer- und Bindersteine sowie immer wieder eingefügte Durchbinder verhindern ein Auseinanderdriften der beiden Mauerwerksschalen.

Abb. 275 unten: Bei großen Mauerstärken entfernen sich die beiden Mauerwerksschalen zwangsläufig voneinander. Um den notwendigen Verbund zu gewährleisten, ordnet man in gewissen Abständen horizontale und völlig durchgemauerte Steinlagen an.



Schalen verhindern. Zusätzlich werden immer wieder einzelne Durchbinder eingefügt, die die gesamte Mauerbreite durchdringen und den Gesamtverbund verstärken.

Bei dickeren Mauern verwendet man größere Steinblöcke bei im Prinzip gleicher Vorgehensweise. Dies hat jedoch ein natürliches Ende. Bei Mauerstärken von mehreren Metern entfernen sich die beiden Schalen zwangsläufig voneinander und der notwendige Verbund droht verloren zu gehen. Deshalb ordnet man in gewissen Abständen horizontale und völlig durchgemauerte Steinlagen an, die die beiden äußeren Mauerwerksschalen miteinander verklammern (Abb. 275). Das gleiche Prinzip hatten wir bereits als sogenannte Ziegeldurchschüsse bei römischen Hauswänden kennengelernt (vergl. Abb. 48). Es entsteht eine Art verkleinertes Kammersystem, bei dem sich massives Mauerwerk nur an den Außenseiten sowie in einzelnen horizontalen Schichten befindet. Die inneren Hohlräume jedoch sind lediglich mit einem Gemisch aus Steinbrocken, Schotter, Sand und Mörtel verfüllt. Statisch gesehen erfüllen diese Mauern praktisch die gleichen Anforderungen wie komplett durchgemauerte Wände. Das amorphe innere Material wird nur auf Druck belastet und kann nicht ausweichen, während die beidseitig nach außen richtenden Schubkräfte durch die im Verband gemauerten Mauerwerksschalen aufgefangen werden. Die Vorteile dieser Mauerwerkstechnik liegen im deutlich geringeren Steinverbrauch und im entsprechend geringeren Aufwand für das Zuschlagen der Blöcke sowie in der Wiederverwendbarkeit des abgeschlagenen Steinmaterials für die Verfüllung der Hohlräume.

Vollflächig durchgemauerte Steinschichten bleiben dagegen in der Praxis die Ausnahme, wie zum Beispiel bei Hof- oder Terrassenbelägen. Da das gebrochene Steinmaterial aus unterschiedlichen Steingrößen besteht, bildet sich in der Fläche ein Fugenmuster, das keiner geometrischen Gesetzmäßigkeit unterliegt. Die Kunst des Mauerns in der Fläche besteht darin, die unterschiedlichen Steingeometrien so zu kombinieren, dass einerseits das Zuschlagen der Steine minimiert wird und andererseits ein möglichst starker Verbund der Steine untereinander zustande kommt. Der heute sichtbare Rohfußboden der Königinnenkammer ist dafür ein anschauliches Beispiel (vergl. Abb. 226). Dieses Verfahren lässt sich allerdings nicht so ohne Weiteres über mehrere Steinlagen fortsetzen. Im Gegensatz zu normalen Mauern, bei denen über den gesamten Arbeitsvorgang hinweg das Fugenbild beidseitig sichtbar bleibt und so für den Mauerwerksverband gefährliche senkrechte oder beinahe senkrecht durchgehende Fugen über mehrere Steinlagen vermieden werden können, ist dies bei großflächigem Mauerwerk nicht mehr hinreichend möglich. Während bei der zweiten Steinlage gegenüber der ersten Steinschicht ein ausreichender Fugenversatz problemlos machbar ist, geht mit den weiteren Steinlagen der Überblick über das darunter liegende Fugenbild verloren. Die notwendige Kontrolle der senkrechten Fugen über mehrere Steinlagen hinweg ist nicht mehr gegeben und es wächst die Gefahr von Rissen durch mehrere Schichten und Auflösung des Mauerwerksverbunds.

Selbstverständlich ist es nicht unmöglich, mit gebrochenem Steinmaterial auch großflächig über viele Lagen einen fachgerechten Mauerwerksverband herzustellen. Dazu benötigt man aber gleiche oder annähernd gleiche Steinformate, deren Fugenbild geometrisch bestimmt ist und so auch über viele Steinlagen hinweg kontrollierbar bleibt. Der Mehraufwand ist jedoch beträchtlich und dürfte daher auch nur dort Verwendung finden, wo rationellere Mauerwerkstechniken aus statischen Gründen ausscheiden. In Anbetracht der Risiken eines flächig durchgehenden Mauerwerks, aber vor allem wegen des erheblich höheren Aufwands an Steinmaterial und Arbeitskraft erscheint es als sehr unwahrscheinlich, dass die Cheops-Pyramide durch und durch aus behauenen Steinblöcken aufgebaut ist. Vielmehr kann man annehmen, dass mit der Katastrophe von Meidum sowie dem dadurch ausgelösten Ende der Schalenbauweise und der Rückkehr zu horizontalen Steinlagen auch die über Generationen bewährte Kammerbauweise der Großmastabas wieder aufgenommen und in die Höhe weiterentwickelt wurde.

Das verborgene Raster

Wenn man diesem Gedanken folgt, ergibt sich für die innere Struktur der Cheops-Pyramide ein dreidimensionales Kammersystem, das aus einem Raster von einzelnen senkrechten Wänden und lediglich etagenweise aus vollflächig durchgemauerten Steinschichten besteht (Abb. 276). Es bildet sich eine räumliche Gitterstruktur von hoher Stabilität, die als Ganzes weitgehend unempfindlich ist gegenüber partiellen Setzungen oder Verschiebungen. Mit den heutigen Möglichkeiten, etwa denen des Stahlbetons, würde man vermutlich ein ganz ähnliches räumliches Gebilde zugrunde legen, das in den senkrechten Teilen aus einzelnen Stützen, stellenweise zur Querausteifung aus Wandscheiben, und etagenweise aus durchgehenden Deckenscheiben besteht. Da Stahlbetondecken die einzelnen Kammern problemlos überbrücken könnten, würde man die Hohlräume heute unverfüllt belassen und so einen erheblichen Teil an Baumasse einsparen können. Das war damals selbstverständlich nicht möglich, die einzelnen Kammern mussten daher verfüllt werden. Hierfür stand eine ganze Reihe unterschiedlicher Materialien zur Verfügung, wie in Abbildung 276 für vier Kammern stellvertretend dargestellt. Für die Mehrzahl der Kammern, vor allem für die im Inneren des Bauwerks gelegenen, wird man Schotter oder Sand verwendet haben, der, nass verfüllt und durch Stampfen verdichtet, eine hohe Druckfestigkeit erreicht. In den Randbereichen der Pyramide sowie in der Umgebung der inneren Räume, wo starke seitliche Schubkräfte auftreten können, wird man, wie bei der Hinterfüllung der einzelnen Schalen der Pyramide von Meidum, zur Stabilisierung eher sorgfältig geschichtete Bruchsteine verwendet oder in Einzelfällen die Hohlräume auch komplett durchgemauert haben. Ein solches Bauwerk, das zwar fast ausschließlich aus Baumasse besteht, benötigt aber nur zum Teil Mauerwerk aus zubehauenen Steinen. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Qualität der vier Wandseiten der Pyramide, die dem Druck nach außen widerstehen müssen. Daher ist da-

von auszugehen, dass die äußeren Wandscheiben auf eine gewisse Tiefe komplett durchgemauert und mit den dahinter liegenden Kammern kraftschlüssig und ohne durchgehende senkrechte Fugen verbunden wurden.

Einen deutlichen Hinweis darauf, dass die Cheops-Pyramide nicht durchgängig aus zubehauenen Steinblöcken besteht, lieferten gravimetrische Messungen, die Wissenschaftler unter der Schirmherrschaft der EDV-Stiftung in den Jahren 1986/87 vor Ort durchführten. Die Messungen dienten der Ermittlung der Dichte des Bauwerks. Die Dichte eines Materials wird als Verhältniszahl zu derjenigen des Wassers angegeben. Ein Kubikmeter Wasser hat ein Gewicht von 1000 Kilogramm und eine Dichte von 1,0. Ein Material mit der Dichte 2,0 ist also bei gleichem Volumen doppelt so schwer wie Wasser. Kalkstein hat eine Dichte von 2,0 bis 2,6 und Granit eine solche von 2,6 bis 3,0. Die Dichte von trockenem Kies oder Sand liegt hingegen nur bei 1,7 bis 1,9. Bislang ging man davon aus, dass die durchschnittliche Dichte der Cheops-Pyramide unter Berücksichtigung der bekannten Hohlräume und unter der Annahme breiterer Steinfugen im inneren Mauerwerk bei etwa 2,5 liegen müsse. Die gravimetrischen Messungen erbrachten jedoch ein davon abweichendes Ergebnis, wonach die tatsächliche Dichte eher bei 2,0 als bei 2,5 anzunehmen ist. Für das obere Drittel des Bauwerks, also weit oberhalb des Gang- und Kammersystems, wurde nur ein Wert von 1,87 ermittelt.[29] Unter der Annahme eines räumlichen Kammersystems mit weitgehenden Sand- oder Schotterverfüllungen der Hohlräume ist das Ergebnis der Messungen nicht sonderlich überraschend. Erstaunlich ist lediglich der sehr niedrige Wert im oberen Drittel der Pyramide, der nur geringfügig höher ist als derjenige von Kies oder Sand. Daher ist zu vermuten, dass sich dort oben weitere unbekannte Hohlräume befinden.

Über die konstruktiv und arbeitsökonomisch bedingten Vorteile eines Kammersystems hinaus hat das einem solchen System zugrunde liegende Gitter noch weitere Vorteile. Ein gleichmäßiges Raster ist ein einfaches Mittel, eine größere Fläche zu strukturieren und ihr eine innere Ordnung zu verleihen. Das System aus rechtwinkligen und kreuzförmigen Linien erlaubt eine denkbar einfache Bestimmung eines jeden beliebigen Punkts in der Fläche durch nur zwei Längengrößen, den Koordinaten. Schon im Alten Reich wurde die Landvermessung mit rechtwinkligen Gittern kontrolliert. Viele Siedlungen sind auf klaren Rastern aufgebaut, so auch die der Totenstadtanlagen mit ihren Mastabahausgräbern. Auch den inneren Strukturen großer Gebäude, wie denen der königlichen Mastabas, liegt offensichtlich eine Rasterstruktur zugrunde. Nicht zuletzt ist die an keiner Stelle durchbrochene rechtwinklige Anordnung des Gang- und Kammersystems der Cheops-Pyramide ein weiterer Hinweis auf ein dem Gebäudegrundriss hinterlegtes Raster.

Im Gegensatz zu den bei den Großmastabas durchweg verwendeten Rechteckrastern ist bei einer im Grundriss quadratischen Pyramide selbstverständlich von einem Quadratraster auszugehen. Ein solches Raster liefert naturgemäß auch nur einzelne quadratische Felder, die eine individuelle Grundrissbildung zu erschweren, wenn nicht gar auszuschließen scheinen. Es gibt jedoch zwei einfache Maßnahmen, um die starre Ordnung aufzubrechen und sie an funktionale Anforderungen des Grundrisses anzupassen, ohne die gesamte Struktur infrage zu stellen. Die erste Maßnahme ist die Zusammenlegung von mehreren Einzelfeldern zu einer größeren Einheit beziehungsweise die Unterteilung eines Felds in zwei oder mehrere kleine Flächen (Abb. 277 oben, A u. B). Es entstehen unterschiedlich große Räume, denen aber das quadratische Grundraster nach wie vor innewohnt. Die zweite Maßnahme besteht in der partiellen Verschiebung einer oder mehrerer Rasterlinien in eine andere Position (Abb. 277 C). Dies nennt man Auswechslung oder kurz Wechsel. Ein Wechsel ermöglicht im Einzelfall eine Veränderung der durch das starre Raster bedingten Raumproportionen und damit eine Anpassung an funktionale Anforderungen. Wie das Beispiel zeigt, ergibt sich allein durch die Zusammenlegung von vier Feldern, der Teilung zweier Felder sowie der Einführung eines Wechsels ein schon recht individuelles Grundrissgebilde, dem man, ohne Kenntnis der inneren Struktur der verfüllten Kammern, das Quadratraster kaum noch anmerkt (Abb. 277 unten). Dies verdeutlicht die Schwierigkeit, nur in Kenntnis der inneren Räumlichkeiten und ohne Wissen um die dahinter liegende Struktur auf die Größe des verwendeten Rasters zu schließen.

Hinzu kommt eine weitere Erschwernis, nämlich die zwangsläufige Veränderung des Ausgangsrasters durch die verwendeten Wandstärken. Das Raster selbst ist immateriell und lediglich ein maßliches Konstrukt, mit dessen Hilfe eine verbindliche Ordnung in der Fläche gewährleistet und eine einfache messtechnische Kontrolle ermöglicht wird. Das Rastermaß eines Feldes ist niemals gleich dem Maß des dort entstehenden Raums und auch die Außenabmessung eines auf einem Raster entwickelten Gebäudes weicht von den jeweiligen Rastermaßen ab. Dies sei an einem weiteren Beispiel verdeutlicht (Abb. 278). Vorgegeben ist ein Rasterfeld von neun Quadraten je 5 x 5 Meter Größe und einem Gesamtmaß von 15 x 15 Metern (rot). Werden entlang der Rasterlinien einen Meter starke Wände positioniert (grau), verringern sich die entstandenen Innenmaße auf 4 x 4 Meter. Die Außenabmessungen des Gebäudes vergrößern sich hingegen auf 16 x 16 Meter. Das ist die erste Veränderung im Maßsystem. Weitere kommen hinzu. Verstärkt man, wie bei den Großmastabas grundsätzlich der Fall, aus statischen Gründen die Außenmauern um weitere 1,5 Meter (blau), vergrößern sich die Außenmaße nochmals, hier im Beispiel auf 19 x 19 Meter. Wir wollen darüber hinaus annehmen, dass nur der Raum in der Mitte als solcher genutzt werden soll, während die übrigen acht Felder mit Schotter verfüllt werden. Aus ästhetischen Gründen erhält dieser Raum nun noch eine innere Verkleidung von 0,5 Metern Stärke (gelb), sodass im fertigen Zustand ein Raum von 3 x 3 Metern Größe entsteht. Wenn man nur die Außenabmessungen des Gebäudes und die Maße des inneren Raums kennt, wird man schwerlich auf das der Konstruktion zugrunde liegende Raster schließen können. Die Außenmaße mit 19 x 19 Metern und die Raummaße mit 3 x 3 Metern haben mit dem Raster von 5 x 5 Metern rein numerisch nichts mehr gemein. Sie sind weder ganzzahlige Vielfache noch ganzzahlige Teile des Ausgangsrasters.

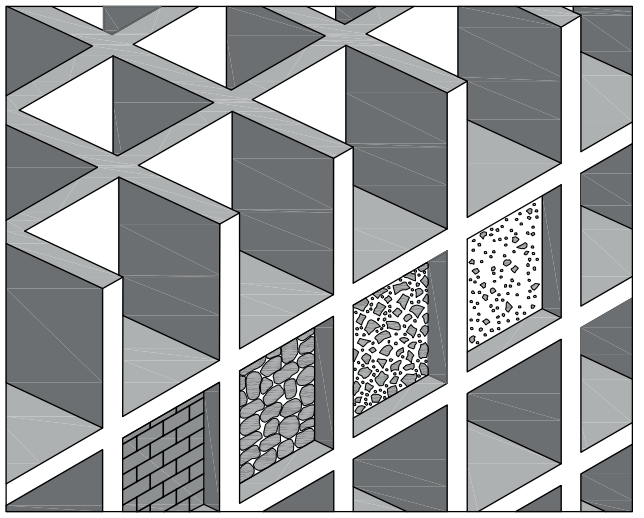
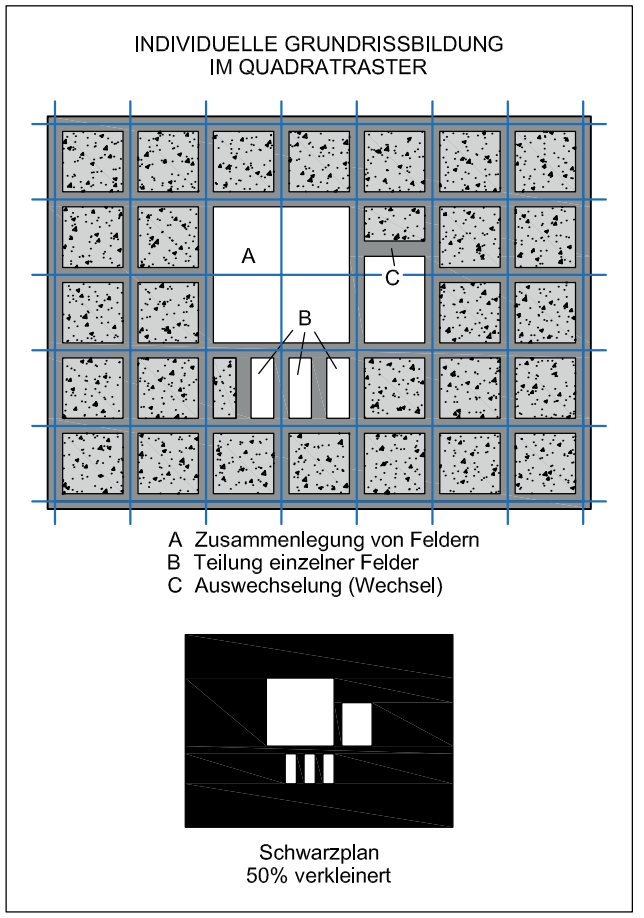


Abb. 276 oben: Die innere Struktur der Cheops-Pyramide besteht vermutlich, in Weiterführung der Kammerbauweise der Großmastabas in die Höhe, aus einem Raster von einzelnen senkrechten Wänden und etagenweise aus vollflächig durchgemauerten Steinschichten. Es bildet sich ein räumliches Gitter, dessen Hohlräume lediglich verfüllt wurden. Je nach statischen Erfordernissen wurden dafür unterschiedliche Materialien eingesetzt, überwiegend wohl Sand, Kies oder grober Schotter, in kritischeren Bereichen unbehauene Bruchsteine oder in Einzelfällen auch die komplette Ausmauerung einzelner Kammern.

Abb. 277 unten: Um die starre Ordnung eines Quadratrasters an funktionale Anforderungen des Grundrisses anzupassen, können mehrere Rasterfelder zusammengelegt oder einzelne Felder weiter unterteilt werden (A und B). Ein Wechsel ermöglicht im Einzelfall auch völlig andere Raumproportionen (C).



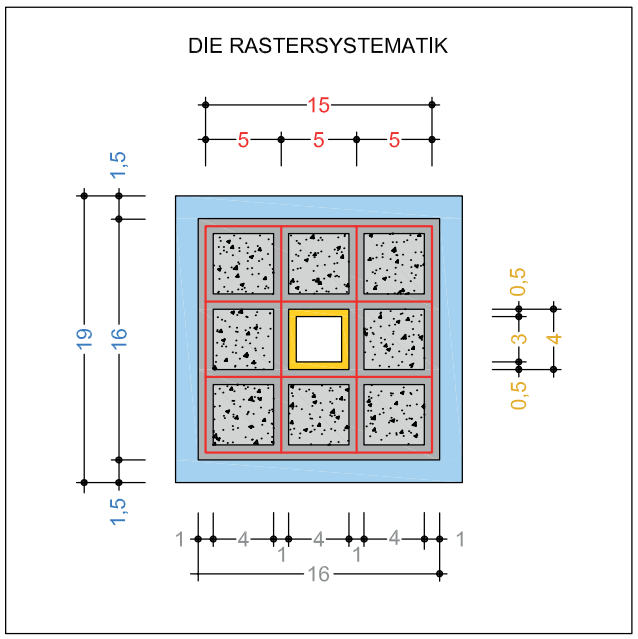
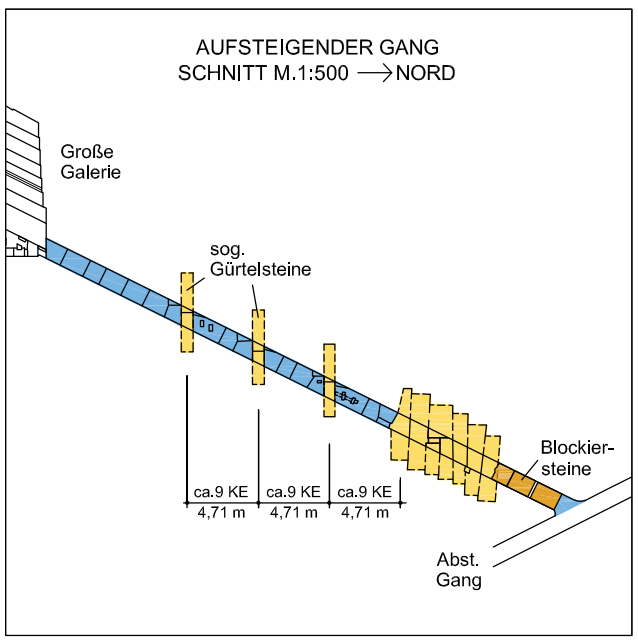


Abb. 278: Die Zeichnung verdeutlicht die zwangsläufige Veränderung der Maße des Ausgangsrasters durch die verwendeten Wandstärken. Das einzelne Rasterfeld von 5 x 5 m (rot) wandelt sich durch die Verwendung von 1 m starken Wänden in ein Feld von 4 x 4 m (grau) und durch eine weitere innere Verkleidung von 0,5 m Wandstärke in einen nochmals kleineren Raum von 3 x 3 m (gelb). Die Verstärkung der Außenmauern hingegen führt zu einer Vergrößerung des Gesamtrasters von ursprünglich 15 x 15 m auf 19 x19 m (blau). Wenn man nur die Außenabmessungen des Gebäudes und die des inneren Raums kennt, wird man nur schwerlich auf die Größe des verwendeten Rasters schließen können.

Abb. 279: Der Aufsteigende Gang ist der einzige Abschnitt im Gang- und Kammersystem der Cheops-Pyramide, dessen Mauerwerk nicht nach ästhetischen Gesichtspunkten geordnet wurde, sondern ausschließlich eine Folge rein konstruktiver Maßnahmen ist. Der auffallend gleich bleibende Achsabstand von ca. 9 KE der ersten vier Gürtelsteine untereinander lässt auf ein dahinter liegendes, gleichermaßen strukturiertes Kernmauerwerk schließen.



Die Suche nach einem der Cheops-Pyramide zugrunde liegenden Konstruktionsraster erscheint daher nahezu aussichtslos. Wir kennen lediglich die Außenabmessungen des Bauwerks sowie die inneren Maße der Kammern und Gänge, deren Wände durchweg verkleidet wurden. Wir wissen weder, aus wie vielen einzelnen Rasterfeldern die großen Räume gebildet wurden, noch haben wir einen Anhaltspunkt für eventuelle Wechsel, also für Verschiebungen einzelner Wände gegenüber dem Grundraster. Auch die verwendeten Wandstärken sind nicht nachprüfbar. Es gibt so viele Unbekannte in dieser Rastersystematik, dass es ohne weitere Hinweise praktisch unmöglich erscheint, eine verlässliche Aussage über das verborgene Konstruktionsraster zu machen.

Glücklicherweise gibt es jedoch einen Abschnitt im Gang- und Kammersystem der Cheops-Pyramide, der einen Rückschluss auf das dem Bauwerk zugrunde liegende Raster erlaubt. Es ist der Aufsteigende Gang (Abb. 279). Offensichtlich ist das Mauerwerk dieses Teilstücks sowie dessen merkwürdiges Fugenbild eine Folge rein konstruktiver Maßnahmen. Das im oberen Abschnitt noch reguläre und der Neigung des Gangs folgende Mauerwerk wird im weiteren Verlauf durch vier sogenannte Gürtelsteine unterbrochen. Die in gleichem Abstand angeordneten Blöcke bestehen aus riesigen, senkrecht stehenden Steinplatten, die dazu dienen, die schräg gemauerte Röhre des Aufsteigenden Gangs im dahinter liegenden Kernmauerwerk zu verankern. Der untere Gangabschnitt besteht bis zu den drei festsitzenden Blockiersteinen, und wahrscheinlich auch darüber hinaus, nur noch aus Gürtelsteinen. Sie hatten die Aufgabe, die Schläge der ehemals 24 Blockiersteine, die beim Verschließen des Bauwerks mit hoher Geschwindigkeit und großer Wucht den Gang hinabglitten und beim Aufprall entsprechend große Kräfte hervorriefen, in das Kernmauerwerk abzuleiten. Die senkrechte Anordnung der Gürtelsteine widerlegt im Übrigen ein weiteres Mal die Schalentheorie Borchardts. Wenn die Cheops-Pyramide aus nach innen geneigten Mauerwerksschalen bestehen würde, müssten logischerweise auch die Gürtelsteine die gleiche Neigung aufweisen. Sie stehen aber offensichtlich senkrecht.

Das Raster im Grundriss

Ein besonders hervorstechendes Merkmal ist der mit etwa neun Königsellen (4,71 m) auffallend gleich bleibende Achsabstand der ersten vier Gürtelsteine untereinander, der auf ein gleich strukturiertes Kernmauerwerk schließen lässt. Dies scheint in der Tat ein ganz konkreter Hinweis auf die Größe des verwendeten Rasters zu sein. Die Übertragung eines quadratischen Rasters von 9 x 9 Königsellen auf das Großquadrat der Pyramidenbasis von 440 x 440 Königsellen scheint denn auch auf Anhieb stimmig (Abb. 280). Es entsteht ein Großraster von 48 x 48 einzelnen Rasterfeldern, zuzüglich eines vier Königsellen (2,09 m) breiten umlaufenden Randstreifens. Dass sich 440 nicht ganzzahlig durch 9 teilen lässt, darf nicht verwundern, hatte doch die Analyse der Rastersystematik gezeigt, dass die Außenabmessungen eines im Raster erstellten Gebäudes stets größer sind als die Summe der Abmessungen der einzelnen Rasterfelder. Bemerkenswert indes ist die sich ergebende Anzahl von 48 Rasterfeldern, oder, von den Mittelachsen aus gesehen, je 24 Feldern in beiden Richtungen. Die Zahl Zwölf und ihre Vielfachen sind universelle Zahlen, auf deren Bedeutung für den Kalender und die Zeiteinteilung schon im Zusammenhang mit den 24 Blockiersteinen hingewiesen wurde.

Auf den ersten Blick fügt sich auch das in eine gemeinsame Grundrissebene projizierte oberirdische Gang- und Kammersystem scheinbar mühelos in die Rasterstruktur ein. Das nordsüdliche Gangsystem mit Ab- und Aufsteigendem Gang, Großer Galerie und Königskammer (gelb) verbleibt über weite Strecken innerhalb einer Rasterbreite, während das ostwestliche Gangsystem mit Königinnenkammer und senkrechtem Schacht (blau) exakt auf der Ost-West-Mittelachse verläuft, ein in sich logisch erscheinendes Gesamtbild. Bei genauerem Hinsehen entdeckt man jedoch Abweichungen oder Verschiebungen beim nordsüdlichen Gangsystem. Große Galerie und Gänge laufen nicht genau mittig im Rasterfeld und bei der Königskammer stören die nach allen Seiten unterschiedlichen Abstände zu den Rasterlinien. Der vergrößerte Ausschnitt in Abbildung 281 zeigt die Unstimmigkeiten deutlicher, zeigt aber auch, dass man mit nur zwei Auswechselungen (grün) gegenüber den ursprünglichen Rasterlinien (gestrichelt) das gesamte Grundrissgefüge in absolute Übereinstimmung mit dem Raster bringen kann. Besonders beeindruckend ist dabei das entstandene Zahlensystem mit glatten Ellenmaßen und präzis symmetrischen Abständen zu den Rasterlinien. Diese Zeichnung ist kein Schema, sondern ein exaktes Abbild der innenräumlichen Abmessungen von Gängen und Kammern in Bezug auf ein angenommenes Raster von 9 x 9 Königsellen. Bei der maßlichen Analyse des oberirdischen Gang- und Kammersystems hatte sich herausgestellt, dass so gut wie alle Grundrissabmessungen der Kammern und Gänge zentimetergenau glatten Ellenmaßen entsprechen. Dass nunmehr die Abstandsmaße der Kammern und Gänge zu einem angenommenen Quadratraster von 9 x 9 Königsellen ebenso exakt glatte Ellenmaße ergeben, ist ein deutliches Indiz für die Richtigkeit dieser Annahme.

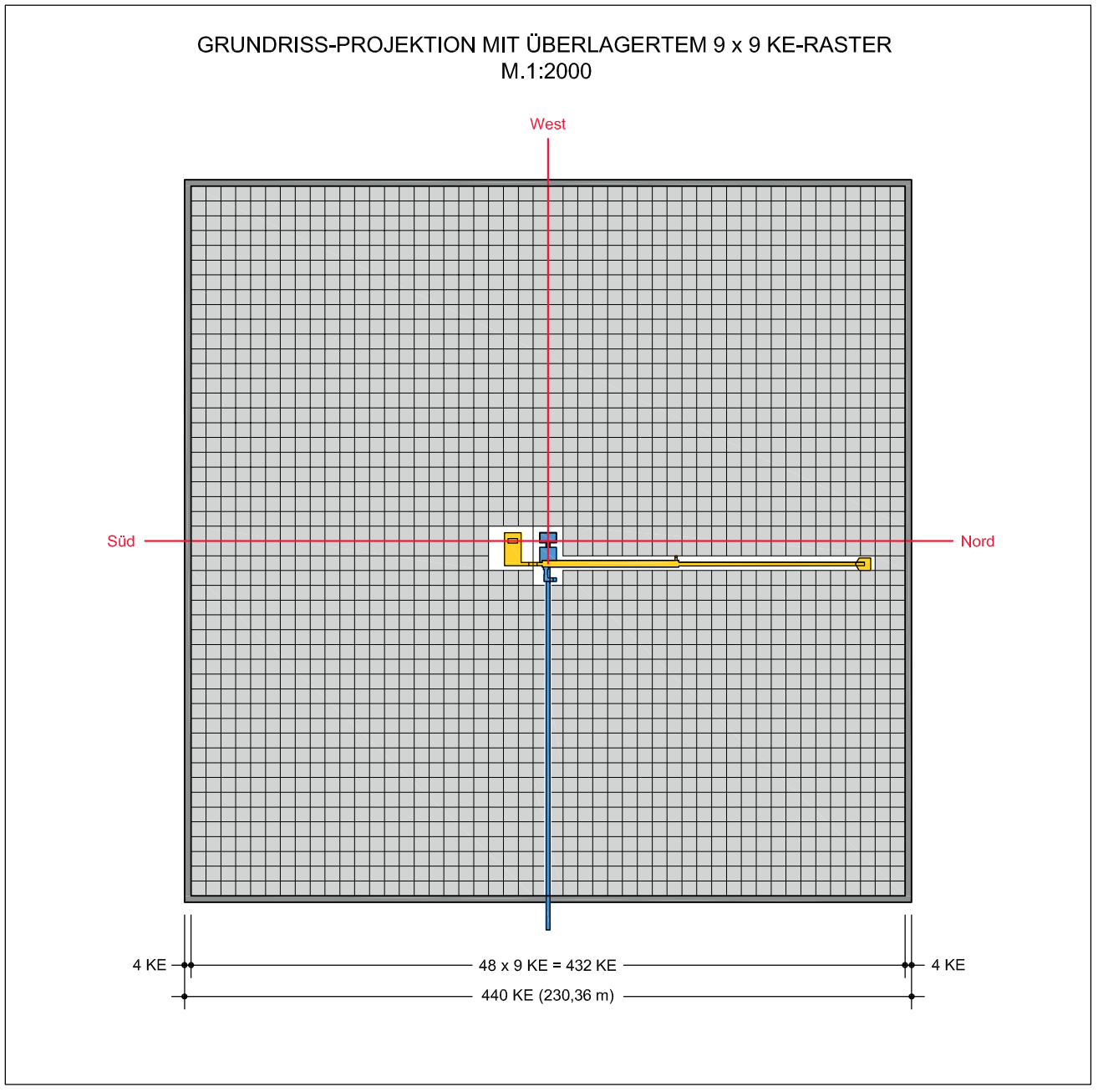


Abb. 280: Die Überlagerung eines 9 x 9-KE-Rasters auf das Großquadrat der Pyramidenbasis führt zu einem bemerkenswert stimmigen Ergebnis. Es entsteht ein Großraster mit 48 x 48 einzelnen Rasterfeldern, zuzüglich eines 4 KE breiten umlaufenden Randstreifens, in das sich das in eine gemeinsame Ebene projizierte Gang- und Kammersystem mühelos einzufügen scheint. Während das ostwestliche Gangsystem mit Königinnenkammer und senkrechtem Schacht (blau) exakt der Rastergeometrie folgt, sind beim nordsüdlichen Gangsystem mit Auf- und Absteigendem Gang, Großer Galerie und Königskammer (gelb) kleine Abweichungen von der Idealgeometrie festzustellen.

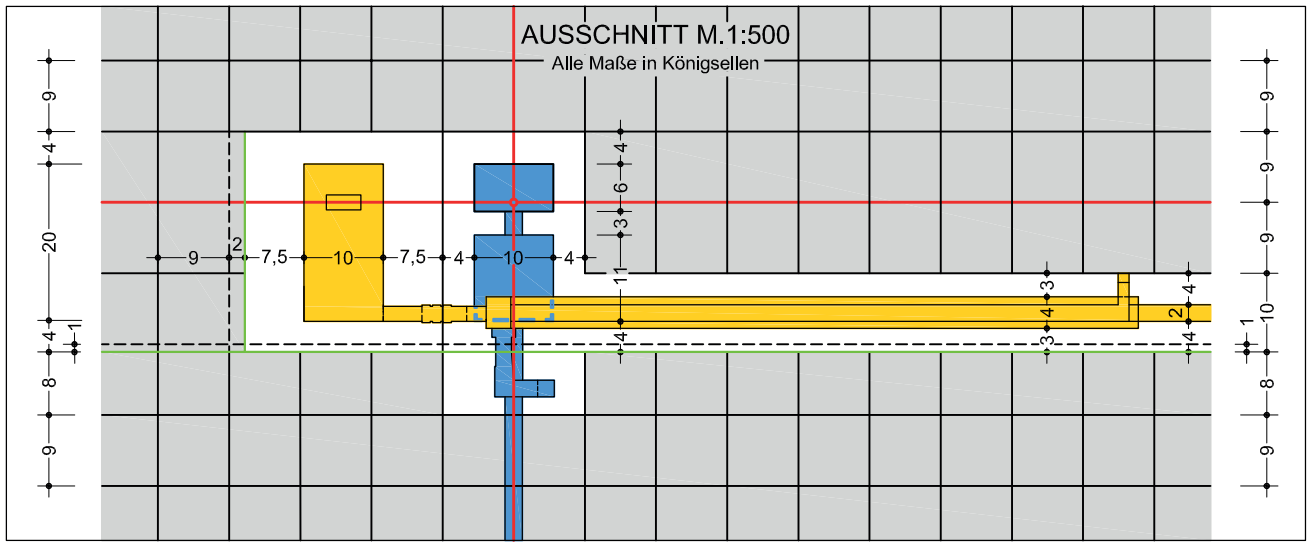


Abb. 281: Der vergrößerte Grundrissausschnitt zeigt, dass man mit nur zwei Auswechselungen (grün) gegenüber dem Idealraster (gestrichelt) das gesamte Grundrissgefüge in absolute Übereinstimmung mit dem Raster bringen kann. Besonders beeindruckend ist dabei das entstandene Zahlensystem mit glatten Ellenmaßen und präzis symmetrischen Abständen zu den Rasterlinien.

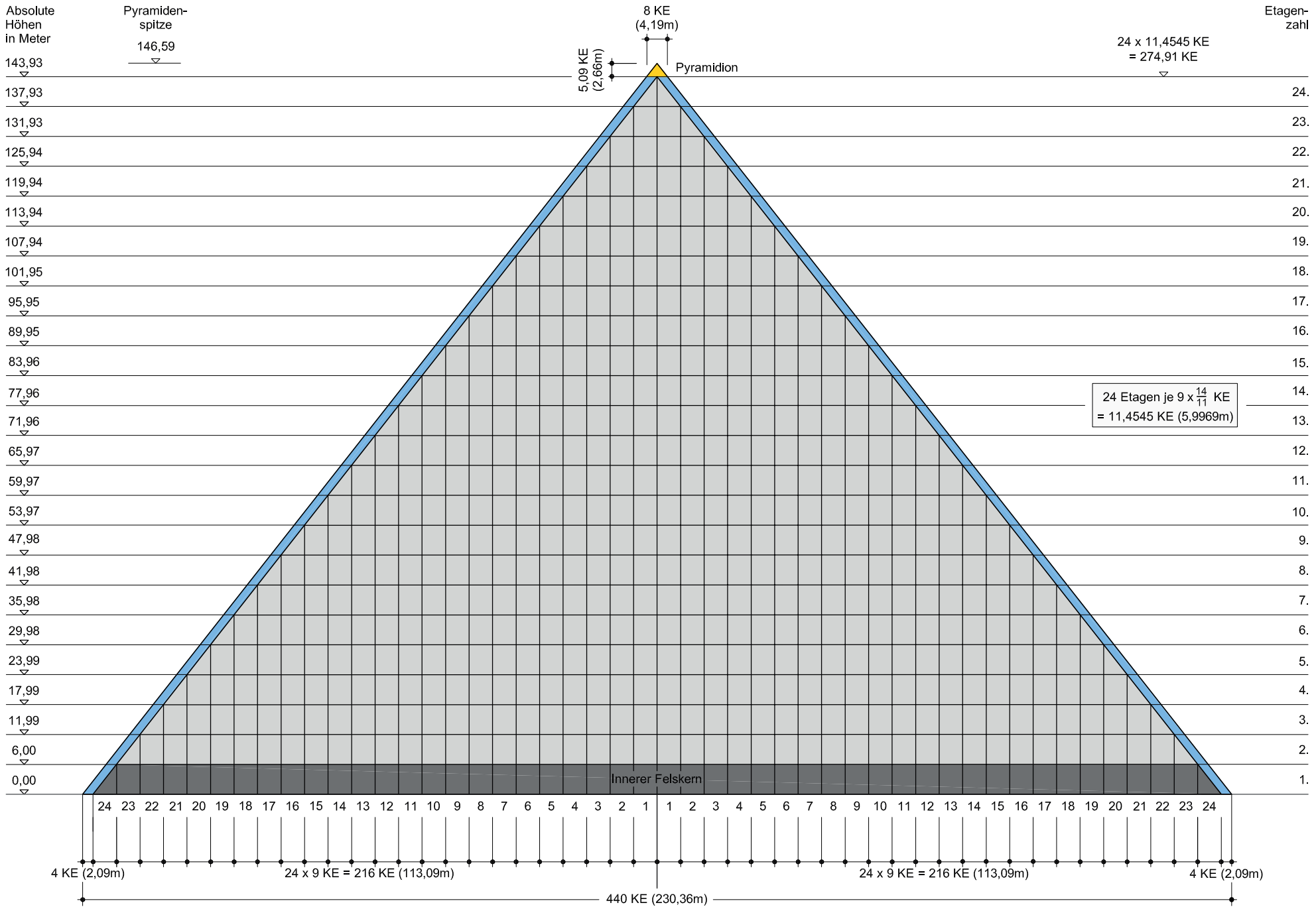
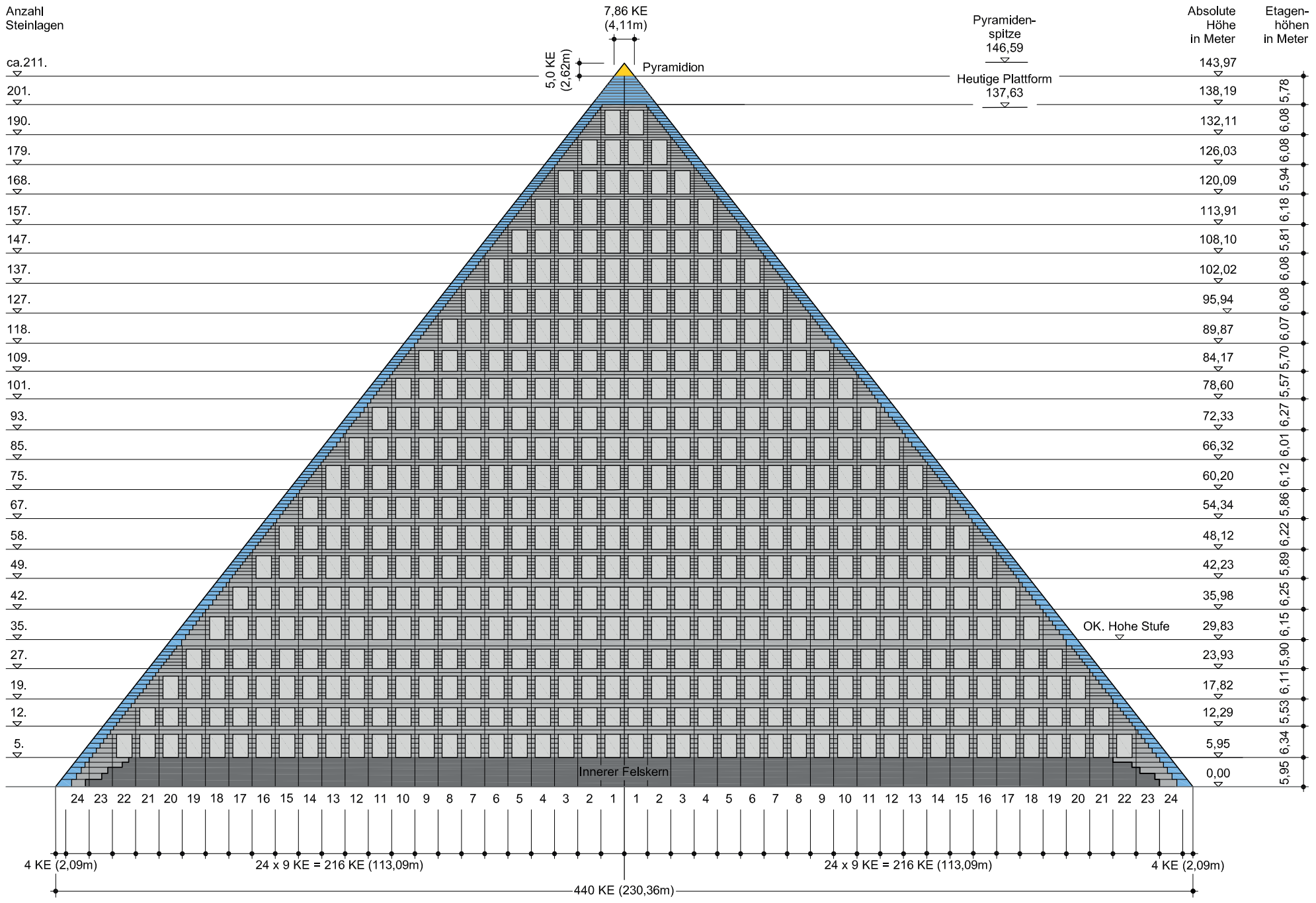


Abb. 282: Bei der Übertragung des 9-KE-Quadratrasters auf den Pyramidenaufriss muss systembedingt das Steigungsverhältnis der Pyramidenseiten von 14:11 = 1,2727 berücksichtigt werden. Auf diese Weise ergibt sich im Aufriss ein Rasterschema von 24 Etagen mit jeweils 6,0 m (11,4545 KE) Höhe, zuzüglich eines Pyramidions, dessen Grundfläche von 8 x 8 KE sich aus den beiden Randstreifen (blau) von je 4 KE Breite herleitet. Mit der sich ergebenden Etagenhöhe von 6,0 m bestätigen sich frühere Überlegungen zur Messtechnik sowie zur vermutlichen Höhe des inneren Felskerns, der demnach die erste der 24 Etagen des Bauwerks darstellt.

Das Raster im Aufriss

Bei der Übertragung des Rasters auf den Pyramidenaufriss muss systembedingt der Neigungswinkel berücksichtigt werden (Abb. 282). Die Höhe der über den quadratischen Rasterfeldern entstehenden Kuben muss so gewählt werden, dass an den Außenflächen eine der Neigung der Pyramidenseiten entsprechende Treppung entsteht. Das Steigungsverhältnis der Cheops-Pyramide beträgt 14:11 oder 1,2727… Demnach berechnet sich die Höhe der Rasterkuben auf neun Königsellen x 1,2727 = 11,4545… Königsellen, was nahezu exakt einer Höhe von 6,0 Metern entspricht (rein rechnerisch 5,9969… m). Auf diese Weise ergibt sich im Aufriss ein Rasterschema von 24 Etagen und eine Gesamthöhe von 274,91 Königsellen (143,93 m). Der bereits erwähnte Randstreifen von vier Königsellen, der den Pyramidengrundriss auf allen vier Seiten umfährt, setzt sich im Aufriss gleichermaßen fort und wandelt sich an der Spitze zu einer maßstäblich verkleinerten Pyramide mit einer Grundfläche von 8 x 8 Königsellen sowie einer Höhe von 5,09 Königsellen. Diese verkleinerte Pyramide ist entsprechend der Rastersystematik logischerweise das Pyramidion.

Insgesamt gesehen entsteht auf der Grundlage eines 9 x 9-Königsellen-Rasters auch im Aufriss ein absolut stimmiges Rastergefüge, nämlich ein Bauwerk mit 24 Etagen zuzüglich eines angemessenen Pyramidions. Besonders bemerkenswert ist neben der symbolträchtigen Zahl der Etagen deren Höhe mit 6,0 Metern. Schon die Überlegungen im Kapitel „Die messtechnische Kontrolle“ hatten



zu der Vermutung geführt, dass die Pyramide in einzelnen Etagen erbaut wurde, deren Höhe mit 6,0 – 6,5 Metern abgeschätzt wurde. Diese Annahme wurde gestützt durch die davon unabhängigen Schlussfolgerungen zur Höhe des inneren Felskerns, die ebenfalls zu einem Maß von etwa 6,0 Metern führten. Nunmehr erfahren diese Vermutungen eine eindeutige Bestätigung. Der innere Felskern hat eine systembedingte Höhe von 6,0 Metern und stellt die erste Etage der Pyramide dar.

Die tatsächlich realisierten Etagenhöhen weichen demgegenüber zwangsläufig mehr oder weniger deutlich ab. Wir hatten schon bei der Analyse der Höhen der einzelnen Steinschichten und deren Abfolge feststellen müssen, dass es hier keinerlei mathematische Gesetzmäßigkeit gibt (vergl. Abb. 66, schwarze Säule). Die Höhen der 200 Steinlagen sind sehr unterschiedlich, folgen aber einem gewissen Rhythmus. Mit fortschreitender Höhe nehmen die Steinstärken zunächst ab, um dann sprunghaft auf eine deutlich größere Höhe zuzunehmen. Diese rhythmischen Veränderungen unterliegen jedoch keiner klaren Gesetzmäßigkeit, sie sind von unterschiedlicher Länge und auch voller Widersprüche. Dies hatte schließlich zu der Annahme geführt, dass die Höhen der Steinschichten und deren Abfolge untereinander mehr oder weniger ausschließlich von den Arbeitsabläufen im Steinbruch bestimmt wurden. Dass hierbei selbst ästhetische Gesichtspunkte offensichtlich keine Rolle spielten, hatte zu der Schlussfolgerung geführt, dass die Cheops-Pyramide wahrscheinlich ursprünglich bemalt war. Die Steinhöhen waren also mehr oder weniger durch die Produktionsweise im Steinbruch vorgegeben, sodass sich

Abb. 283: Die Zeichnung zeigt den Versuch, die theoretischen Etagenhöhen von 6,0 m den tatsächlich verbauten Steinlagenhöhen anzupassen. Dabei wird davon ausgegangen, dass mit Abschluss jeder Etage jeweils 2 Steinlagen komplett durchgemauert sind, um den horizontalen Verbund der Kammern untereinander zu gewährleisten. Da die einzelnen Höhen der Steinschichten mehr oder weniger ausschließlich von den Arbeitsabläufen im Steinbruch bestimmt wurden, variieren die Etagenhöhen und bewegen sich zwischen 5,53 m und 6,34 m. Die 24. Etage ist komplett durchgemauert, da das Kammerprinzip geometrisch bedingt mit der 23. Etage endet. Die theoretische Höhe des Pyramidions von 5,09 KE wurde wegen ihrer unmittelbaren Nähe zur königlichen Zahl Fünf geringfügig auf exakt 5 KE reduziert.

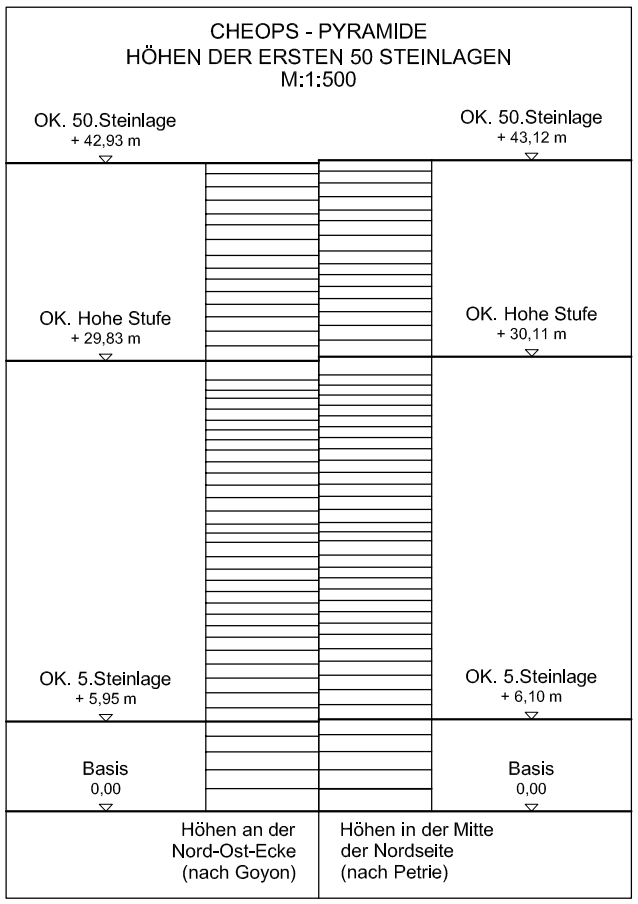
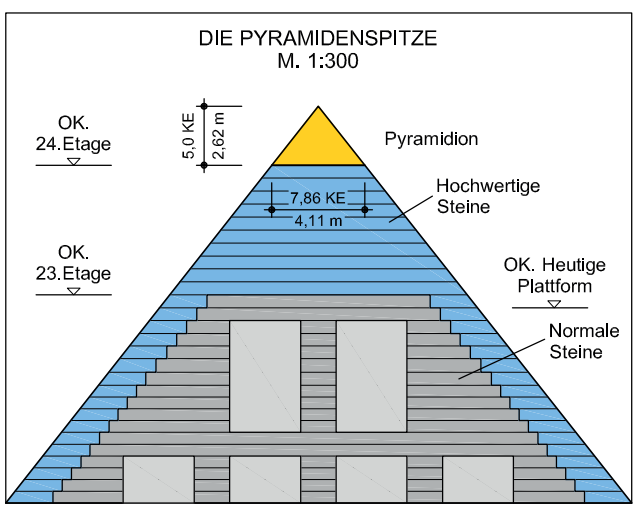


Abb. 284: Höhenvergleich der ersten 50 Steinschichten an zwei etwa 100 m voneinander entfernten Stellen der Pyramide. Obwohl die Schichtenfolgen offensichtlich identisch sind, zeigen sich deutliche Höhenunterschiede, die sich oberhalb der Hohen Stufe auf bis zu 37 cm aufaddieren. Diese Abweichungen lassen sich nur durch Bauwerkssetzungen erklären.

Abb. 285: Dem Pyramidion als Schlussstein kommt eine hohe Symbolkraft zu. Erst mit diesem letzten Stein wird das Bauwerk zur Pyramide. Zudem ist das Pyramidion ein verkleinertes Abbild der gesamten Pyramide mit den gleichen Proportionen. Man vermutet, dass das Pyramidion ehemals vergoldet war. Nach der Rastersystematik war die 24. Etage vollständig durchgemauert und bestand vermutlich aus wertvollen und exakt zubehauenen Steinblöcken. Dies würde die Höhe der heutigen Plattform erklären, da hier das hochwertige Steinmaterial endete.



die theoretischen Etagenhöhen mit 6,0 Metern an die jeweiligen Schichthöhen vor Ort anzupassen hatten. Abbildung 283 zeigt nun den Versuch, mithilfe der von Goyon gemessenen 200 Schichthöhen sowie auf der Basis eines 9 x 9-Königsellen-Grundrasters eine innere Bauwerksstruktur zu entwickeln. Dabei wird davon ausgegangen, dass mit Abschluss jeder Etage jeweils zwei Steinlagen komplett durchgemauert sind, um den horizontalen Verbund der Kammern untereinander zu gewährleisten. Die abgebildeten Etagenhöhen (Abb. 283, rechte Maßkette) bewegen sich zwischen 5,53 und 6,34 Metern und folgen erwartungsgemäß nicht immer dem theoretischen Maß von 6,0 Metern. Für Statik und Bauablauf ist es jedoch weitgehend unwichtig, auf welcher Höhe genau eine bestimmte Etage endet. Für die messtechnische Kontrolle des Bauwerks musste man nur deren exakte Höhenlage kennen, um, wie gezeigt wurde, die Neuvermessung des jeweiligen Basisquadrats durchführen zu können. Die senkrechten Wände stehen jeweils exakt auf den Rasterlinien und sind mit einer Breite von drei Königsellen (1,57 m) angenommen. Auch dies ist nur als Durchschnittswert zu betrachten. Tatsächlich werden die Wandstärken im Einzelnen von der jeweiligen Steinhöhe beeinflusst sein, was jedoch wegen der besseren Ablesbarkeit der Rastersystematik hier unberücksichtigt blieb.

An den Rändern des Bauwerks kommt es zu einer Abtreppung der entstandenen Kammern und infolgedessen zu vollständig ausgemauerten dreiecksförmigen Mauerwerkszwickeln. Darüber legt sich zur Verstärkung der Außenwände eine im Grundriss vier Königsellen (2,09 m) breite Mauerschicht, das ist in etwa die verloren gegangene Verkleidung, sodass das innere Kammergebilde von einer stabilen und Lage für Lage im Verband durchgemauerten Außenhaut abgestützt wird. Die 24. Etage ist vollständig durchgemauert, da das Kammerprinzip geometrisch bedingt mit der 23. Etage endet. Beim Pyramidion wurde eine minimale maßliche Änderung vorgenommen. Aus der Rastersystematik heraus hatte sich ein theoretisches Höhenmaß für das Pyramidion von 5,09 Königsellen hergeleitet. Die unmittelbare Nähe dieses theoretischen Wertes zu 5,0 Königsellen sowie die Bedeutung der Zahl Fünf für das Maßsystem der Königskammer legen es nahe, anzunehmen, dass die Erbauer die Höhe dieses königlichen Schlusssteins auch mit exakt fünf Königsellen festlegten.

Es gibt noch einen weiteren Grund dafür, dass man bei der Höhenlage einzelner Kammern und auch bei den Etagenhöhen keine zentimetergenaue Übereinstimmung zwischen theoretischem Raster und den gemessenen Höhen erwarten darf, wie das bei den Grundrissmaßen der Fall ist. Der Grund liegt in den nicht unerheblichen Setzungen des Bauwerks, die zudem an unterschiedlichen Stellen auch sehr unterschiedlich ausfallen. Alle bislang verwendeten Höhenangaben für die einzelnen Steinlagen und auch die entsprechenden Zeichnungen dazu basieren auf den Höhen, die Goyon an der Nord-Ost-Ecke des Bauwerks gemessen hat. In der Bauaufnahme von Maragioglio und Rinaldi sind hingegen davon abweichende Steinlagenhöhen verzeichnet, die etwa in der Mitte der Nordseite, also in rund 100 Metern Entfernung in der Nähe des Eingangs gemessen wurden. Sie stammen von Flinders Petrie und wurden leider nur für die ersten 50 der insgesamt 200 Steinlagen erhoben. In Abbildung 284 sind diese ersten 50 Steinschichten für die beiden unterschiedlichen Orte einander gegenübergestellt, links die an der Nord-Ost-Ecke und rechts die in der Mitte der Nordseite gemessenen Werte. Es zeigen sich fast durchweg deutliche Unterschiede. Schon bei der fünften Steinlage, also dem Abschluss der ersten Etage, differieren die Werte mit 5,95 und 6,10 Metern bereits um 15 Zentimeter. Auf Höhe der fünften Etage, also bei der sogenannten Hohen Stufe, beträgt der Unterschied zwischen den Werten +29,83 und +30,11 Meter schon 28 Zentimeter. Hier läge der theoretische Wert bei +29,98 Metern. Die Höhenunterschiede steigern sich oberhalb der Hohen Stufe auf bis zu 37 Zentimeter, um sich bis zur 50. Steinlage mit einer Differenz von nur noch 19 Zentimetern wieder etwas anzunähern.

Dies alles steht im deutlichen Gegensatz zur Ebene 0,00, also der aus Fels bestehenden Basis der Pyramide, bei der um das gesamte Bauwerk herum ein maximaler Höhenunterschied von lediglich 2,1 Zentimetern festgestellt wurde. Da davon auszugehen ist, dass aus vermessungstechnischen Gründen die Höhen der einzelnen Steinlagen, zumindest an den Außenseiten der Pyramide, beim Bau ähnlich exakt eingehalten wurden, können die gravierenden Höhendifferenzen nur durch Setzungen des Bauwerks erklärt werden. Erstaunlich ist jedoch, dass sich die Steinschichten unter der gewaltigen Auflast an den Gebäudekanten stärker setzten als in der Mitte der Außenseiten. Die genauen Höhen der einzelnen Steinschichten im Bauwerksinneren oder gar in Gebäudemitte bleiben indes völlig im Dunkeln, da sie nirgendwo unmittelbar ablesbar sind. Dass aber auch hier gravierende Setzungen stattgefunden haben, zeigt beispielsweise die Königskammer, bei der Boden und Decke auf nur fünf Metern Länge bereits um sechs Zentimeter in südlicher Richtung abfallen.

Das Pyramidion und die Hohe Stufe

Dem Pyramidion als Schlussstein kommt eine hohe Symbolkraft zu. Erst mit diesem letzten Stein wird das Bauwerk, das bis dahin zu allen Bauphasen lediglich ein Pyramidenstumpf war, zu einer echten Pyramide. Es ist allein dieser letzte Stein, der die endgültige Form hervorbringt. Zugleich ist das Pyramidion ein verkleinertes Abbild der gesamten Pyramide mit exakt den gleichen Proportionen, eine weitere einzigartige Eigenschaft, die diesen geometrischen Körper auszeichnet. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass man für das Pyramidion einen besonders hochwertigen Stein ausgewählt hat. Manche Forscher vermuten eine vergoldete Spitze, ein durchaus naheliegender Gedanke. Auch der Kopfschmuck des Sphinx war vermutlich aus Gold und die Vorstellung einer in der Sonne glitzernden goldenen Pyramidenspitze ist von faszinierender Eindringlichkeit.

Von den Pyramiden des Alten Reichs ist kein einziges Pyramidion erhalten, außer den Bruchstücken eines angeblichen Pyramidions der Roten Pyramide. Es hat jedoch

deutlich steilere Außenflächen als die Pyramide selbst und besteht lediglich aus Kalkstein, weshalb Zweifel angebracht sind. Entsprechende Funde aus dem Mittleren Reich sind aus schwarzem Granit und bis zu 1,30 Meter hoch. Wie groß das Pyramidion der Cheops-Pyramide war, ist unbekannt. Allgemein wird von ähnlich geringen Abmessungen ausgegangen, während sich aus der Systematik eines 9 x 9-Königsellen-Grundrasters ein mit fünf Königsellen (2,62 m) praktisch doppelt so hohes Pyramidion ergibt. Die letztere Annahme erscheint angemessener, wenn man die außergewöhnliche Größe der Cheops-Pyramide berücksichtigt. Ein lediglich halb so hohes Pyramidion wie das in den Abbildungen 282 und 283 dargestellte würde im Verhältnis zur Größe des Bauwerks kaum seine Funktion als weithin sichtbarer Schlussstein erfüllen können. Neben seiner symbolischen und zeichenhaften Bedeutung hat das Pyramidion aber auch eine ganz klare statisch konstruktive Funktion. Es hat die Aufgabe, die gegen Verschiebungen besonders empfindlichen obersten Steinlagen zusammenzubinden. Dazu muss es durch geeignete Verbindungstechniken wie Verdübelungen oder Verzapfungen mit den darunter liegenden Steinblöcken verklammert werden. Je größer das Pyramidion, desto mehr Steinblöcke können gesichert werden. Dazu kommt das höhere Aufgewicht, das die Bauwerksspitze zusätzlich stabilisiert.

Mit der 23. Etage endet das innere Kammerprinzip und die letzte Etage besteht nach unserer Systematik komplett aus Vollmauerwerk (Abb. 285). Wie schon dargelegt, kann man großvolumiges Mauerwerk in fachgerechtem Verband nur mit gleich oder ähnlich großen Steinblöcken herstellen, da nur so das Fugenbild kontrollierbar bleibt. So ist anzunehmen, dass die gesamte 24. Etage aus hochwertigen und sorgfältig zubehauenen Steinblöcken bestanden hat und dass diese Steine für die Steinräuber, die den Pyramidenmantel komplett entfernten, ebenfalls von besonderem Wert waren. Die Höhenlage der heutigen Plattform scheint dies zu bestätigen. Als man nach Entfernung des Pyramidions Lage für Lage die wertvollen Steinblöcke der 24. Etage entfernt hatte, stieß man schließlich auf die oberste Schicht der 23. Etage. Sie bestand, wie alle anderen Etagenabschlüsse auch, aus zwei Steinlagen unregelmäßig geformter Steinblöcke von nur durchschnittlicher Qualität, so wie die der heutigen Plattform (Abb. 286). Die Steine sind nach dem gleichen Prinzip miteinander verklammert wie der Rohfußboden der Königinnenkammer. Mit solchen Blöcken ist kaum etwas anzufangen. Deshalb beendete man vermutlich den Steinraub an dieser Stelle.

Die außerordentliche Bedeutung des Pyramidions für das Erscheinungsbild der gesamten Pyramide ist unübersehbar. Es gibt jedoch noch ein weiteres steinernes Zeichen, das sich an der Pyramide deutlich ablesen lässt, dem aber bislang keine Funktion beigemessen werden konnte. Es ist die 35. Steinlage des Bauwerks, die sogenannte Hohe Stufe. An dieser Stelle vergrößert sich sprunghaft die Höhe der Steinlagen auf nahezu das Doppelte und die dadurch entstehende markante horizontale Linie ist auch heute noch das auffälligste Merkmal in der Fassadenstruktur der Pyramidenflanken (vergl. Abb. 57). Ein Grund für diese merkwürdige Steinlage blieb jedoch verborgen. Auch eine genaue Analyse der unterschiedlichen Schichthöhen und deren eigenartige Abfolge erbrachten keine besondere Eigenschaft dieser Steinlage, außer ihrer mit 1,27 Metern exorbitanten Höhe. Durch die Rastersystematik im Aufriss gerät die Hohe Stufe nun erstmalig in eine gewisse Sonderposition, da mit ihr eine Etage beendet wird (vergl. Abb. 283). Zudem ist es die fünfte Etage, die hier abgeschlossen wird, möglicherweise eine weitere Referenz an die königliche Zahl Fünf. Aber diese Eigenschaften alleine macht diese Steinschicht noch nicht einzigartig. Verblüffend ist jedoch der Umstand, dass mit der Hohen Stufe praktisch das halbe Bauvolumen erreicht ist (Abb. 287). Rein rechnerisch liegt diese Höhe bei +30,24 Metern. Die Oberkante der Hohen Stufe liegt in der Mitte der Nordseite bei +30,11 und an der Nord-Ost-Ecke bei +29,83 Metern. Unter Berücksichtigung der offensichtlich erfolgten Setzungen des Gebäudes ist dies praktisch eine Punktlandung.

Seit alters her gibt es während der Bauzeit eines Hauses drei wichtige Termine. Das sind Grundsteinlegung, Richtfest und Einweihung. Sie symbolisieren Beginn, Bauzeithälfte und Fertigstellung eines Gebäudes. Bei normalen Bauten markiert das Aufschlagen des Dachstuhls den Wendepunkt zwischen Rohbau und Ausbau, es ist Halbzeit. Bei einer Pyramide, die gleichmäßig Lage für Lage hochgezogen wird und mit dem Aufsetzen des Pyramidions praktisch fertig ist, wäre die Fertigstellung des halben Bauvolumens der entsprechende Zeitpunkt. Insofern erscheint es folgerichtig, die Hohe Stufe als symbolisches Zeichen für das Erreichen des halben Bauvolumens zu interpretieren. Erstaunlicherweise ist dieser Abschnitt bereits nach Abschluss der fünften Etage und lediglich einem Fünftel der Gebäudehöhe (rechnerisch 20,63 %) erreicht. Bezeichnenderweise sind die erste Steinlage, die Hohe Stufe und das Pyramidion mit Höhen von 1,50, 1,27 sowie 2,62 Metern auch die drei höchsten Steinlagen des Bauwerks überhaupt und symbolisieren somit wahrscheinlich Beginn, Halbzeit und Abschluss des Bauwerks.

Die überlagerten Strukturen

Abschließend soll die Übereinstimmung des vermuteten 9 x 9-Königsellen-Rasters mit den Abmessungen der Pyramideninnenräume etwas detaillierter dargelegt werden. Dazu dienen zwei Grundrissprojektionen sowie drei Schnitte, jeweils im Maßstab 1:500, die alle wesentlichen Informationen über das oberirdische Gang- und Kammersystem sowie den vermuteten ostwestlichen Gang mit senkrechtem Schacht abbilden (Abb. 288 – 292). Den Grundrissen als Linien hinterlegt ist das Quadratraster nach Abbildung 281, die Wandstärken sind aus den bereits erwähnten Gründen einheitlich mit drei Königsellen angenommen und mittelgrau gefärbt. Die Schnitte zeigen das entsprechende Bild in Überlagerung mit dem in Abbildung 283 entwickelten Systemaufbau im Aufriss. Die Verfüllung der Kammern ist einheitlich hellgrau dargestellt. Tatsächlich richtet sie sich jedoch nach den jeweiligen statischen Erfordernissen, wie in Abbildung 276 schematisch für vier Fälle dargestellt.

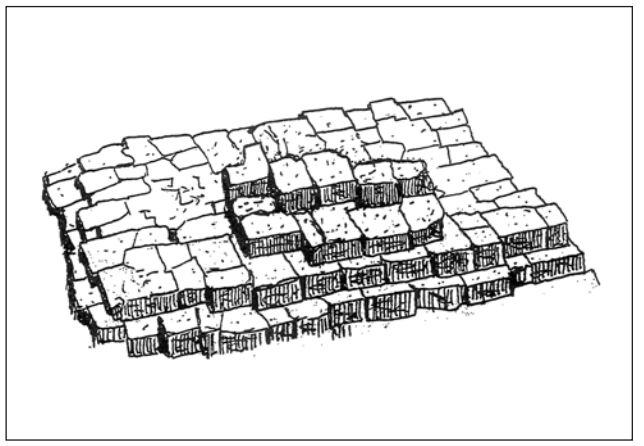
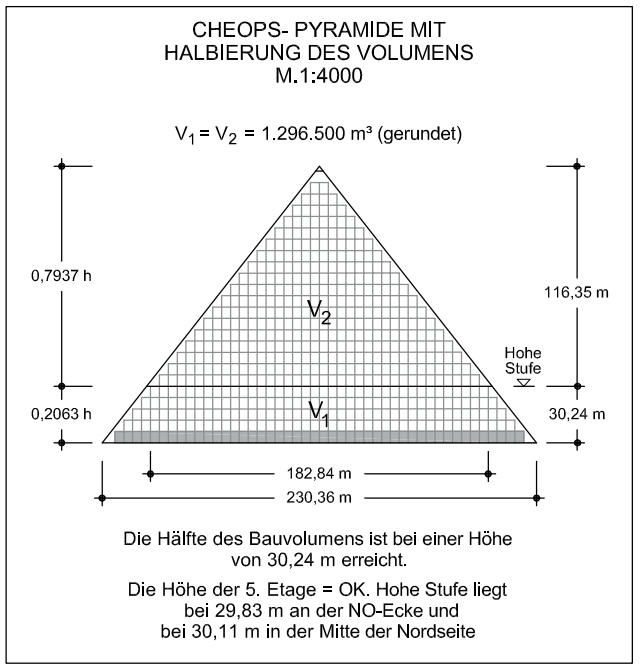


Abb. 286: Die heutige Plattform auf der 200. Steinlage mit Resten der 201. und 202. Steinlage aus der Bauaufnahme von Maragioglio und Rinaldi. Man erkennt deutlich die typische Mauertechnik bei flächiger Verlegung der Steinblöcke. Die Steine sind von unterschiedlicher und unregelmäßiger Geometrie und so kombiniert, dass ein möglichst großer Verbund der Blöcke untereinander zustande kommt. Aus Sicht der Steinräuber ist dieses Material weitgehend uninteressant.

Abb. 287: Die 35. Steinlage, die sog. Hohe Stufe, ist auch heute noch das auffälligste Merkmal in der Fassadenstruktur der Pyramidenflanken (vergl. Abb. 57). An dieser Stelle vergrößert sich sprunghaft die Höhe der Steinlagen auf nahezu das Doppelte. Verblüffend ist, dass mit der Hohen Stufe praktisch das halbe Bauvolumen erreicht ist, und es ist zu vermuten, dass man diesen Zwischenstand durch die überhohe Steinschicht markiert hat. Die Hälfte des Bauwerks ist erstellt, erstaunlicherweise bereits nach Abschluss der 5. Etage und lediglich einem Fünftel der Gebäudehöhe.



Die Abbildungen 288 – 292 im Maßstab 1:500 verdeutlichen die Übereinstimmung des vermuteten 9 x 9-KE-Rasters mit den Abmessungen der Pyramideninnenräume. Die drei Schnitte und zwei Grundrissprojektionen enthalten zeichnerisch alle wesentlichen Informationen über das oberirdische Gang- und Kammersystem sowie den vermuteten ostwestlichen Gang mit senkrechtem Schacht. Den Grundrissen hinterlegt ist das Quadratraster nach Abbildung 281 und den Schnitten der entsprechende Aufriss nach Abbildung 283. Die Bedeutung der farblichen Kennzeichnungen erläutert unten stehende Legende. Alle Abbildungen zeigen den vermuteten Zustand des Bauwerks gegen Ende der Bauzeit, zu der die Verbindungsgänge vom senkrechten Schacht zu den beiden Kammern noch nicht verschlossen waren.

LEGENDE
zu den Abb. 288-292 im M.1:500

- Innerer Felskern
- Die die Kammer und Gänge unmittelbar umgebenden Wand-, Boden- und Deckenflächen, soweit bekannt mit Fugeneinteilung der Steinblöcke
- Das vermutete Kernmauerwerk als orthogonales Kammersystem
- Die aus unterschiedlichen Materialien bestehenden Verfüllungen der Kammern (vergl. Abb. 276)
- Innere Hohlräume
- Die Innenräume des nordsüdlichen Gang- und Kammersystems
- Die Innenräume des ostwestlichen Gang- und Kammersystems
- Mittelachse der Pyramide
- In den Schnitten Nord - Süd - bzw. Ost - West - Achse

Abb. 288 rechte Seite oben: Die Konstruktion der Königskammer als Haus-in-Haus-Bauweise hebt sich durch ihre gewaltige Größe über 5 Etagen von allen übrigen Raumkonstruktionen in der Pyramide deutlich ab. Die Große Galerie durchdringt mit ihrer abgetreppten Giebeldachkonstruktion 10 Rasterfelder. Die dort gelagerten 24 Blockiersteine wurden wegen der besseren Lesbarkeit nicht eingezeichnet. Weitere 7 Rasterfelder nimmt der Aufsteigende Gang ein, dessen Gürtelsteine sich aus statischer Sicht optimal an die Hauptkonstruktion des Kernmauerwerks anlehnen. Auch der Fußpunkt des Aufsteigenden Gangs mit seinem Widerlager im Fels sowie das Eingangsbauwerk fügen sich wie selbstverständlich in die Rastersystematik ein.

Vom Fußpunkt der Großen Galerie führt der Horizontale Gang bis zur Stufe und besteht aus zwei Abschnitten, dessen unterschiedliche Fugenmuster der Wände sich durch unterschiedliche Deckenkonstruktionen erklären (vergl. Abb. 224). Der Konstruktionsaufwand für die Überdachung der Königinnenkammer ist trotz gleicher Raumbreite wie bei der Königskammer sehr viel geringer und verdeutlicht die Sonderstellung der königlichen Grabkammer. Der unter der Königinnenkammer entdeckte horizontale Ost-West-Gang liegt nach der Rastersystematik innerhalb von zwei durchgemauerten Steinschichten.

Abb. 289 rechte Seite unten: Die der Schnittzeichnung zugeordnete Grundrissprojektion zeigt die Abfolge Königskammer, Große Galerie sowie Auf- und Absteigender Gang mit Eingangsbauwerk und verdeutlicht eindrucksvoll die Übereinstimmung der verschiedenen Bereiche mit dem vermuteten Raster des Kernmauerwerks. Blau markiert ist der senkrechte Schacht mit seinen höhengleichen Verbindungsgängen zur Königskammer und zur oberen Plattform der Großen Galerie.

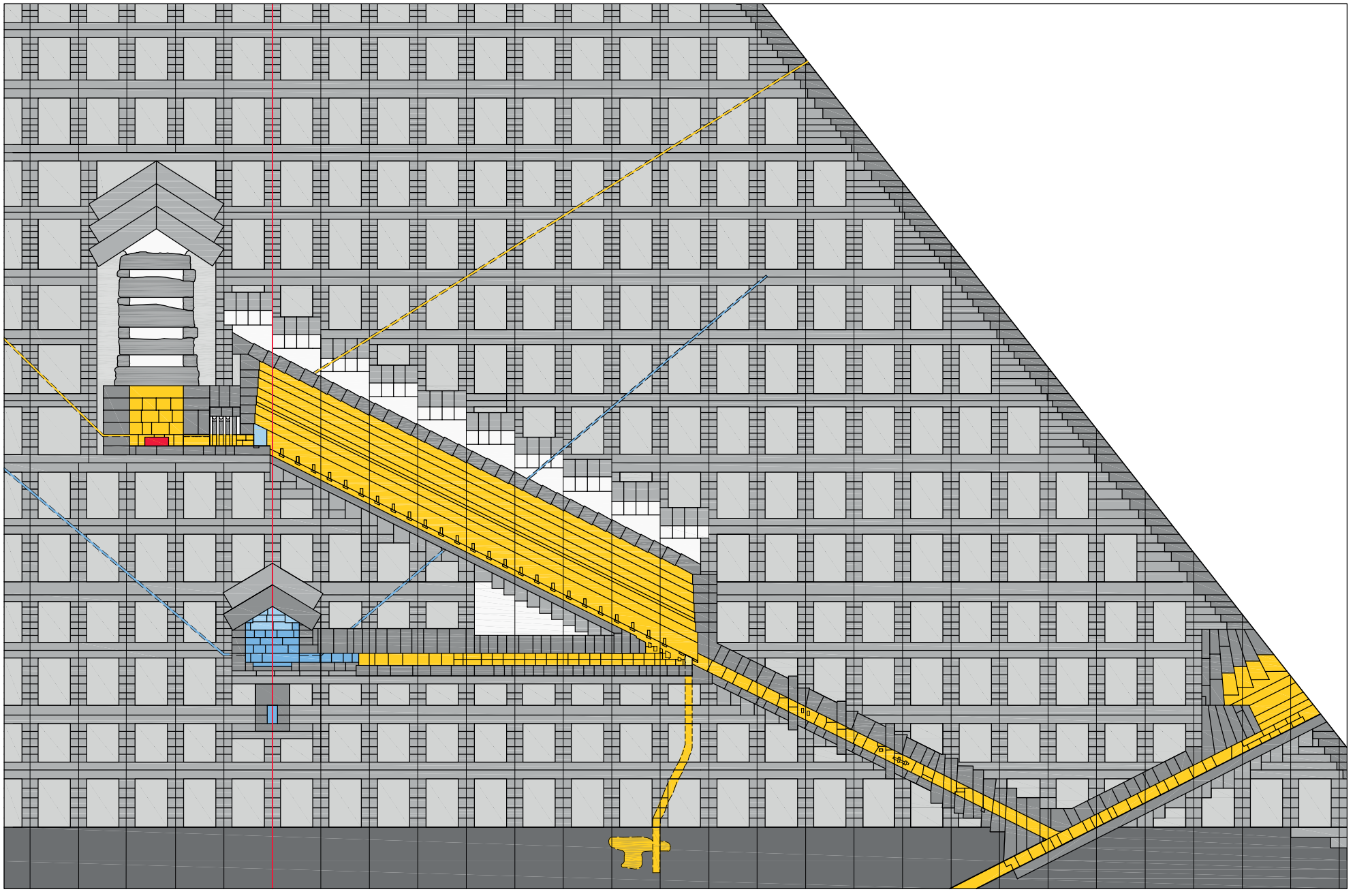
Die Innenräume der Kammern und Gänge sind farblich hervorgehoben. Analog den Abbildungen 280 und 281 sind das nordsüdliche Gang- und Kammersystem gelb und der ostwestliche Gang mit Königinnenkammer und senkrechtem Schacht blau markiert. Die Steinblöcke der die Innenräume unmittelbar umgebenden Wand-, Boden- und Deckenflächen sind dunkelgrau hervorgehoben und, soweit bekannt, mit den entsprechenden Steinfugen versehen. Das Gleiche gilt für die fünf Steindecken über der Königskammer, für die verloren gegangene Verkleidung der Pyramidenaußenseiten sowie für den vermuteten Ost-West-Gang und den senkrechten Schacht. Für die drei Schnitte ist jeweils der untere Bildrand die Basis der Pyramide. Die erste Etage ist somit der ganz dunkelgrau angelegte innere Felskern. Als wichtige Orientierung sind in den Schnitten die jeweiligen Mittelachsen sowie in den Grundrissen das Achsenkreuz in Rot eingetragen. Alle Abbildungen zeigen den vermuteten Zustand des Bauwerks gegen Ende der Bauzeit, zu der die Verbindungsgänge vom senkrechten Schacht zu den beiden Kammern noch nicht verschlossen waren. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit sind die in der Großen Galerie gelagerten 24 Blockiersteine jedoch nicht eingezeichnet.

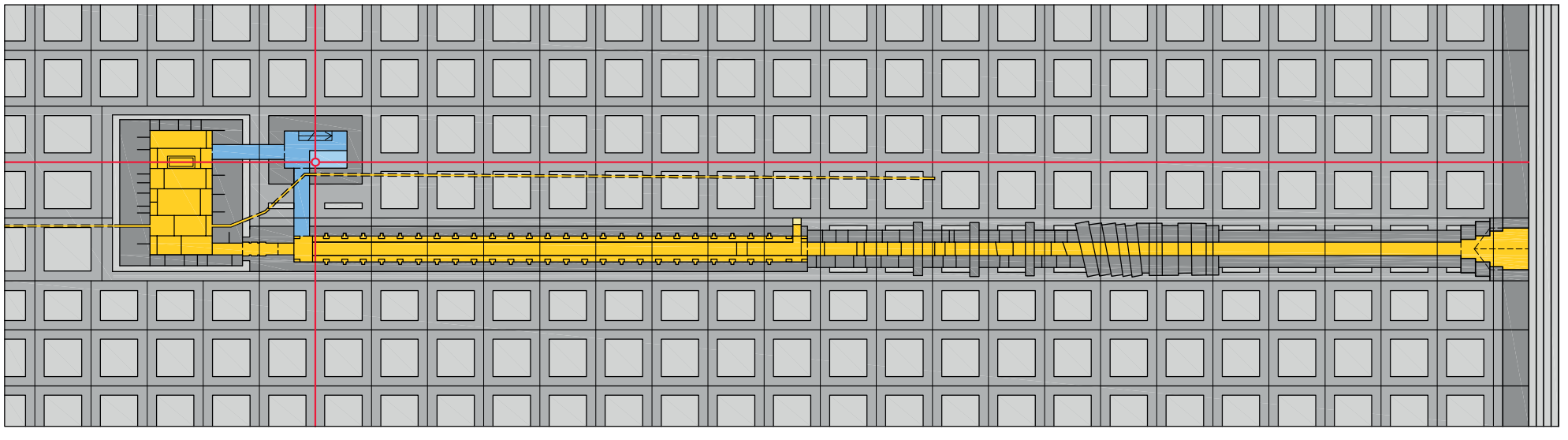
Nach diesen allgemeinen Anmerkungen zu den fünf Zeichnungen soll in Folgendem auf einige bemerkenswerte Details in den einzelnen Zeichnungen sowie auf sich darauf gründende Erkenntnisse hingewiesen werden. Wir beginnen mit dem Hauptschnitt in Nord-Süd-Richtung und der zugeordneten Grundrissprojektion (Abb. 288 u. 289). Die Konstruktion der Königskammer als Haus-in-Haus-Bauweise (vergl. Abb. 186) hebt sich durch ihre gewaltige Größe von allen übrigen Raumkonstruktionen in der Pyramide deutlich ab. Das dreifach angenommene Giebeldach überbrückt eine Spannweite von 22 Königsellen (11,52 m) und die Gesamthöhe der Konstruktion umfasst mit rund 28,50 Metern nahezu fünf Etagenhöhen. Da die ungeheure Last des fünffachen Deckenstapels fast ausschließlich von den beiden Längswänden der Kammer aufgenommen wird, wurden diese mit 2,50 Metern deutlich breiter angenommen als die beiden von Auflast weitgehend freien Kopfwände. Für eine solche Wandstärke spricht auch der große Abstand zwischen Königskammer und Verschlusskammer, in die nunmehr auch die drei ehemaligen Verschlusssteine eingefügt wurden. Im Grundriss erkennt man die Lage des senkrechten Schachts (blau) mit seinen beiden höhengleichen Verbindungsgängen zur Königskammer und zur oberen Plattform der Großen Galerie. Die Galerie durchdringt mit ihrer Gesamtkonstruktion zehn Rasterfelder. Die über der schräg verlaufenden Galeriedecke angeordneten und horizontal gelagerten Giebeldächer (vergl. Abb. 217) folgen in ihrer Abtreppung dem Grundraster von neun Königsellen, ebenso wie die 25 Wandnischen oberhalb der Bankette, Letztere jedoch mit Einschränkung. Im oberen Galeriebereich erkennt man die zunächst präzise Übereinstimmung der Nischenabstände mit dem Konstruktionsraster, während sich weiter unten der Rhythmus der Wandnischen immer mehr von jenem des Rasters entfernt. Hier bestätigt sich eindrucksvoll die bereits vermutete Annahme einer Planänderung während des Baus. Um am Fuß der Galerie Platz für den Zugang zum zunächst nicht vorgesehenen Abstieg zur Grotte zu gewinnen, mussten die mit drei Königsellen geplanten Achsabstände der Wandnischen untereinander geringfügig verkürzt werden (vergl. Abb. 243).

Der in Verlängerung der Großen Galerie abwärts führende Aufsteigende Gang durchdringt weitere sieben Rasterfelder und wird vor allem durch seine Gürtelsteine geprägt. Dass diese im Rhythmus des Konstruktionsrasters angeordnet sind, ist systembedingt. Von deren Abstand wurde das Raster ja abgeleitet. Bezeichnend hingegen ist ihre jeweilige Lage, nämlich nicht auf den Achsen liegend, sondern seitlich versetzt. Sie lehnen sich an die Hauptkonstruktion, die senkrechten Kammerwände, an und können so den Abwärtsschub der schrägen Röhre und deren Erschütterung durch die aufprallenden Blockiersteine optimal in das Kernmauerwerk ableiten. Am unteren Ende des Aufsteigenden Gangs, wo heute noch drei Blockiersteine festsitzen, wurden die dort als Paket senkrecht stehenden Gürtelsteine sinngemäß weitergeführt und fallen mit ihrem unteren Ende wie selbstverständlich mit dem Fugenraster der Decke des Absteigenden Gangs zusammen. Wir hatten schon früh erkannt, dass das Widerlager für die aufprallenden Blockiersteine im Fels liegen muss und dass die Steinummantelung des Absteigenden Gangs über die Stelle des Zugangs zum Aufsteigenden Gang hinaus lediglich der Tarnung dieser Öffnung diente. Im Schnitt fügt sich dieser Punkt besonders logisch in das Gesamtkonzept, ebenso wie das Eingangsbauwerk, das in der bereits vorgeschlagenen rekonstruierten Form unmittelbar in die Zeichnung übernommen wurde (vergl. Abb. 239).

Betrachten wir nun den Horizontalen Gang mit Königinnenkammer anhand des Nord-Süd-Schnitts (Abb. 288) sowie eines gesonderten Grundrisses (Abb. 292). Der Horizontale Gang gliedert sich in drei Abschnitte. Vom Fußpunkt der Großen Galerie aus führt der erste Abschnitt über fünf Rasterfelder mit einer Wandverkleidung aus gleich großen und Fuge auf Fuge gesetzten Steinplatten, deren Fugenrhythmus exakt mit dem Konstruktionsraster übereinstimmt. Es besteht die Vermutung, dass dieser Gangabschnitt ursprünglich breiter war und erst später durch Vormauerung auf das Maß von zwei Königsellen gebracht wurde, weshalb über der Decke dieses Gangabschnitts ein Hohlraum anzunehmen ist (vergl. Abb. 224). Die Wände des zweiten Abschnitts bestehen aus gewaltigen und raumhohen Steinblöcken und enden an der Stufe, die ehemals, wie im Schnitt dargestellt, nach oben und mit verringerter Ganghöhe über einen dritten Abschnitt in die Königinnenkammer führte (vergl. Abb. 229 d u. 230). Die Giebeldächer der Königinnenkammer überspannen bei gleicher Raumbreite wie die der Königskammer lediglich 15 Königsellen (7,85 m). Der konstruktive Gesamtaufwand ist um ein Mehrfaches geringer.

Höhenlage und Größe des unter der Königinnenkammer verlaufenden horizontalen Gangs als Teil der vermuteten West-Ost-Verbindung von der Kammer zum Totentempel ergeben nach der Rastersystematik sehr realistische Werte. Demnach befindet sich der Gang innerhalb von zwei durchgemauerten Steinschichten (18. und 19. Steinlage) und hat eine Höhe von 1,78 Metern. Er ist danach deutlich höher als die bekannten Gänge der Pyramide und entspricht voll den





Anforderungen an die Höhe eines Arbeitsgangs. Der Hohlraum wurde durch eine geologische Radarmessung unterhalb des Rohfußbodens der Kammer in etwa 3,50 Meter Tiefe liegend ermittelt. Das theoretische Maß errechnet sich nach den Höhenschichten Goyons auf 3,37 Meter. Obwohl der Gang exakt auf der Ost-West-Achse verläuft, benötigt er keinen Wechsel. Er bildet sich sozusagen von selbst durch Unterbrechung von zwei durchgemauerten Steinlagen.

Der Verlauf der sogenannten Luftschächte in den Grundrissen (Abb. 288 u. 292) ist in einer Hinsicht bemerkenswert. Drei der vier Kanäle befinden sich erwartungsgemäß innerhalb des rasterförmigen Kernmauerwerks. So lassen sie sich am einfachsten beim Aufmauern der Wände mit einbauen. Nur der nördliche Schacht der Königskammer macht hier eine Ausnahme. Seine sehr viel aufwendigere Führung neben dem Kernmauerwerk scheint auf zweierlei hinzuweisen: einerseits auf den offensichtlichen Zwang, dem Mittelpunkt der Pyramide ausweichen zu müssen, und andererseits auf die Vermeidung eines nochmaligen Knicks, wenn man ihn, wie bei der Königinnenkammer selbstverständlich der Fall, auf die Nord-Süd-Achse eingeschwenkt hätte. Man wollte ganz offensichtlich einen weiteren Knick vermeiden.

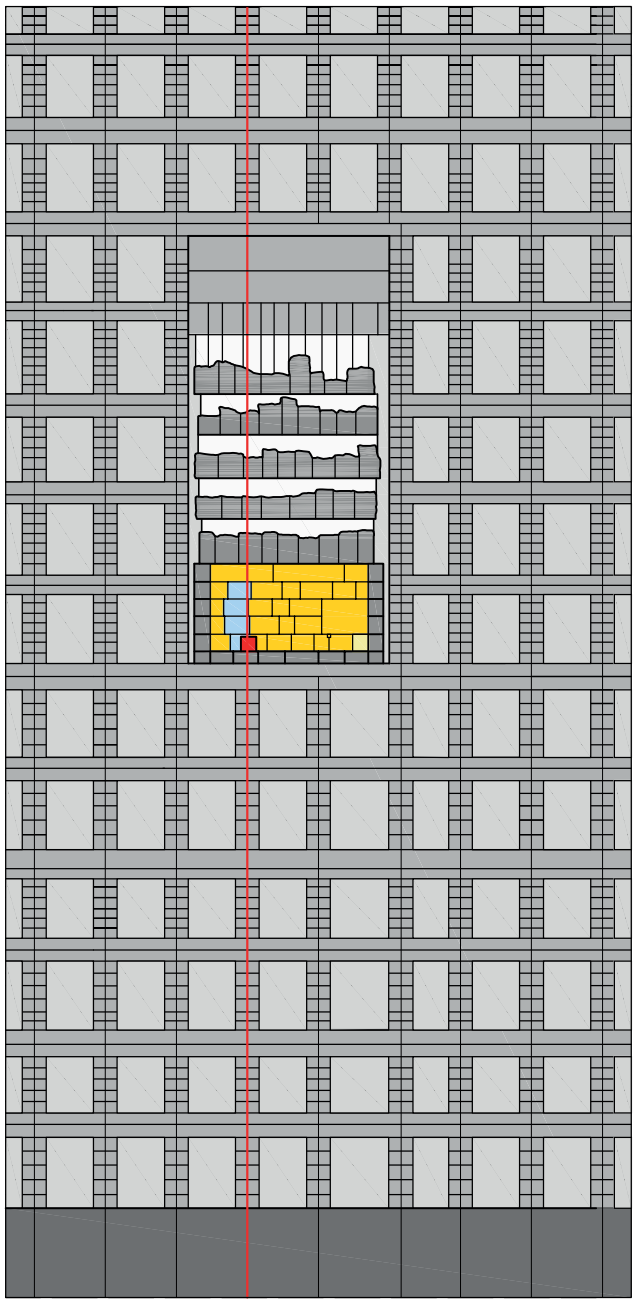
Die Abbildungen 290 und 291 zeigen Schnitte in Ost-West-Richtung jeweils durch die Königskammer und die Königinnenkammer. Die Blickrichtung geht nach Norden. Der Längsschnitt durch die Königskammer (Abb. 290) verdeutlicht, wie auch schon der Querschnitt, den hohen konstruktiven Aufwand für die Sicherung der Kammer. Der fünffache Deckenstapel mit insgesamt 43 bis zu acht Meter langen Steinriegeln bildet zusammen mit den Kammerwänden das innere Haus dieser gewaltigen Haus-in-Haus-Bauweise. Innerhalb der Kammer ist in der Wandansicht rechts der Eingang und links hinter dem rot gefärbten Sarkophag der während der Bauzeit offen gehaltene Zugang zum senkrechten Schacht zu erkennen.

Der Längsschnitt durch die Königinnenkammer (Abb. 291) zeigt in blauer Färbung wesentliche Teile des ostwestlichen Gang- und Kammersystems. Das Bild wird vor allem durch den senkrechten Schacht geprägt. Man erkennt die etwa alle drei Meter angeordneten Zwischenpodeste und die übereinander liegenden Treppenläufe. Die Mittelachse der Pyramide (rot) bleibt über die gesamte Schachthöhe frei (vergl. Grundrisse) und gewährleistet während der Bauzeit zu jedem Zeitpunkt die maßliche Kontrolle durch Lot und Höhenmessung. Entgegen früheren Überlegungen, nach denen der senkrechte Schacht unmittelbar über dem inneren Felskern begann, erscheint es nach Entdeckung des unter der Königinnenkammer verlaufenden Ost-West-Gangs wahrscheinlicher, den Schachtbeginn erst auf dieser Höhenlage zu vermuten. Die Zeichnung zeigt einerseits die temporäre Verbindung zwischen Königinnenkammer und senkrechtem Schacht im Giebeldreieck (vergl. Abb. 225 d) und andererseits den eigentlichen Zugang zur Kammer vom Ost-West-Verbindungsgang hinauf und über den abknickenden Nischengang in die Königinnenkammer (Gesamtüberblick Ost-West-Gang vergl. Abb. 262). Oberhalb der Königinnenkammer ist der Schnitt durch die obere Plattform der im Querschnitt geradezu klein erscheinenden Großen Galerie (gelb) geführt und zeigt den bauzeitlichen Verbindungsgang zum senkrechten Schacht.

Insgesamt betrachtet ergibt die präzise Überlagerung der Bestandszeichnungen mit dem vermuteten Konstruktionsraster auf der 9 x 9-Königsellen-Grundrissbasis eine weitgehend stimmige und in sich logische Gesamtstruktur. Der Vergleich des Konstruktionsaufwands für die Sicherung der Königskammer mit demjenigen für die Überdachung der gleich breiten Königinnenkammer macht die Sonderstellung von Cheops‘ Grabkammer besonders deutlich. Auch lagemäßig scheint die Königskammer der bestimmende Parameter für die Planung der gesamten Innenräume zu sein. Die Festlegung der Kammerdecke auf ein Drittel der Gebäudehöhe (vergl. Abb. 184) und die Ausrichtung des Sarkophags auf die Nord-Süd-Achse der Pyramide machen die Königskammer weitgehend zu einem Fixpunkt innerhalb des Bauwerks, von dem aus sich die Lage der übrigen Räume ableitet. Dies ist auch an der klaren Positionierung der Kammerkonstruktion innerhalb des Etagenrasters ablesbar. Die Höhenlage von Horizontalem Gang und Königinnenkammer hingegen ist durch die Verknüpfung mit dem Fußpunkt der Großen Galerie fest vorgegeben, dessen Höhe sich wiederum von der Lage des Gesamtsystems Königskammer mit Großer Galerie und Aufsteigendem Gang herleitet. Somit hängt letztlich alles an der Positionierung der Königskammer.

Fazit

Der vermutlich plötzliche Einsturz der Pyramide von Meidum noch vor endgültiger Baufertigstellung markiert schlagartig das Ende einer Bauepoche, in der man mit schräg nach innen geneigten Mauerwerksschalen, die sich an einen mittleren Turm anlehnen, Stufenpyramiden errichtete. Die Abkehr von dieser Schalenbauweise und die Wiederaufnahme der schon bei den Großmastabas erprobten Kammerbauweise, nun aber mit einer Entwicklung in die Höhe, führt zu einer räumlichen Gitterstruktur aus senkrechten Wänden und horizontalen Mauerwerksscheiben, deren Zwischenräume lediglich verfüllt wurden. Das der Cheops-Pyramide vermutlich zugrunde liegende Quadratraster von 9 x 9 Königsellen lässt sich im Aufsteigenden Gang an den Achsabständen der sogenannten Gürtelsteine ablesen und führt zu einem Bauwerk mit 24 Etagen, zuzüglich eines Pyramidions von fünf Königsellen Höhe. Die weitgehende Übereinstimmung zwischen der Rasterstruktur und der Anordnung der Innenräume nach Lage und Höhe erscheint offensichtlich. Die Positionierung der Königskammer innerhalb des Bauwerks scheint der Ausgangspunkt für die Geometrie des gesamten übrigen Gang- und Kammersystems zu sein.



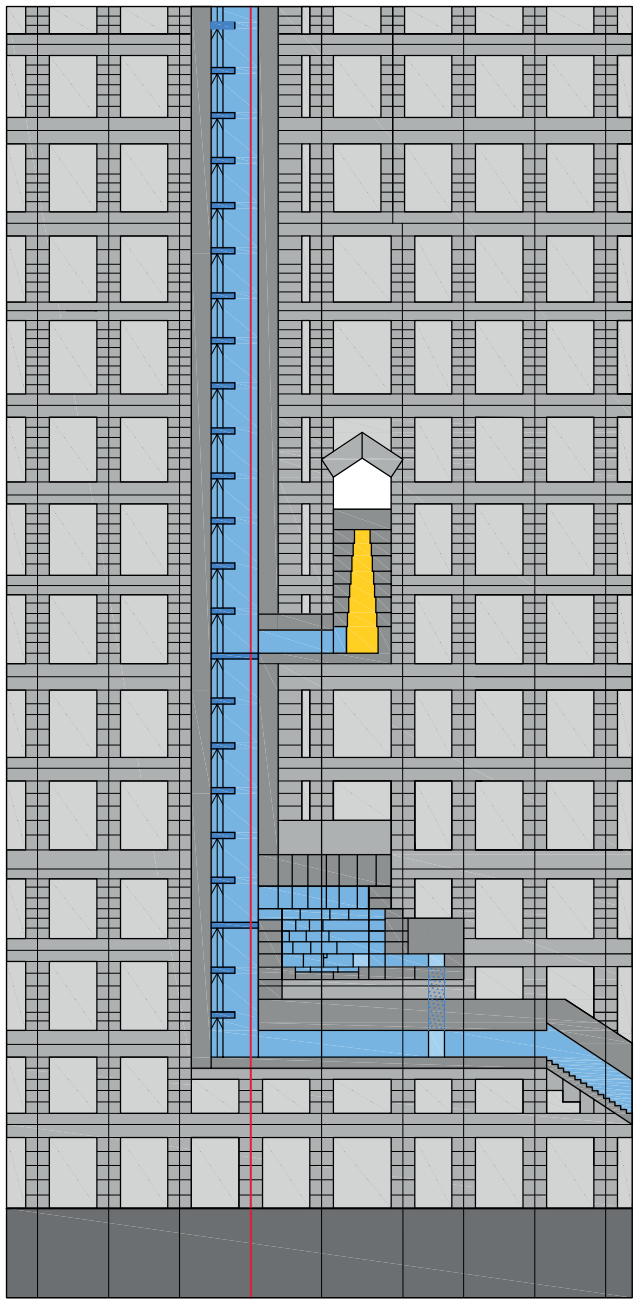


Abb. 290 ganz links: Der Längsschnitt durch die Königskammer mit Blickrichtung nach Norden zeigt rechts unten den Kammereingang und links hinter dem rot gefärbten Sarkophag den während der Bauzeit offen gehaltenen Zugang zum senkrechten Schacht. Der aus 43 Steinbalken bestehende 5-fache Deckenstapel sowie die darüber angenommene 3-fache Giebeldachkonstruktion verdeutlichen den hohen konstruktiven Aufwand für die Sicherung der Kammer.

Abb. 291 links: Der Längsschnitt durch die Königinnenkammer zeigt in blauer Färbung wesentliche Teile des ostwestlichen Gang- und Kammersystems. Oberhalb der Königinnenkammer ist der Schnitt durch die obere Plattform der im Querschnitt geradezu klein erscheinenden Großen Galerie (gelb) geführt. Das Schnittbild wird vor allem durch den senkrechten Schacht und dessen Verbindungen zur Großen Galerie, zur Königinnenkammer und zum Ost-West-Gang geprägt (Gesamtüberblick vergl. Abb. 262). Die hinter der Schnittebene liegende Verbindung hinauf zum abknickenden Nischengang der Königinnenkammer ist blau punktiert dargestellt.

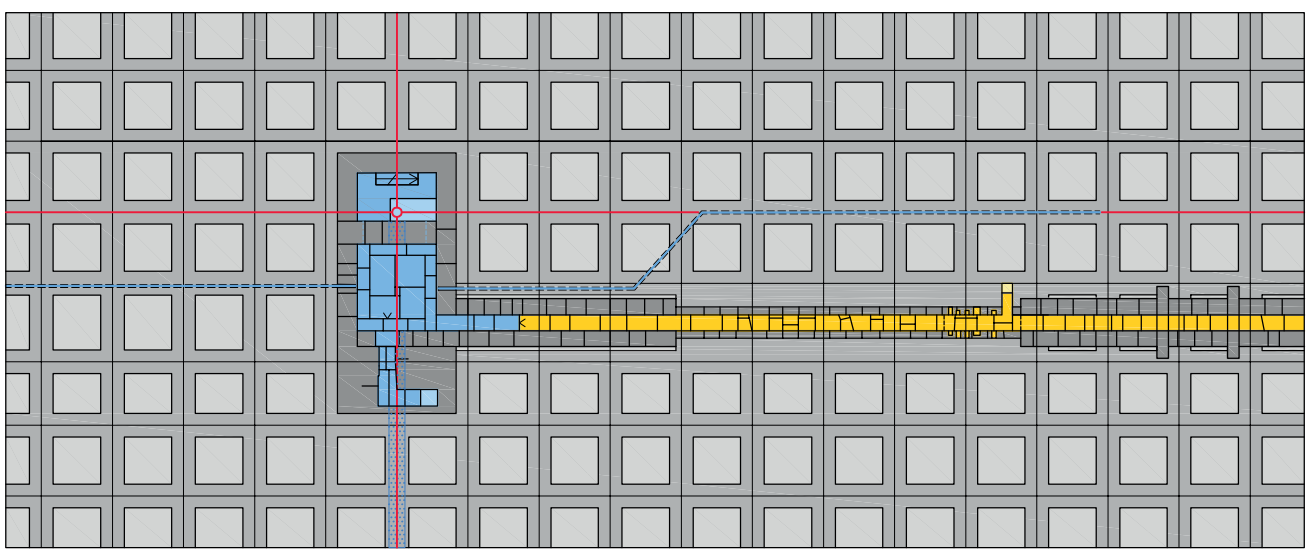


Abb. 292: Der Grundriss ist als Horizontalschnitt unterhalb der Großen Galerie geführt (vergl. Schnittbild Abb. 288) und zeigt blau gefärbt den verloren gegangenen Oberbelag der Königinnenkammer mit abknickendem Nischengang sowie den senkrechten Schacht mit der Mittelachse der Pyramide. Die unterschiedliche Konstruktion der beiden Abschnitte des Horizontalen Gangs (gelb) ist auch im Grundriss an den unterschiedlichen Wandstärken ablesbar. Rechts im Bild das erste Teilstück des Aufsteigenden Gangs.

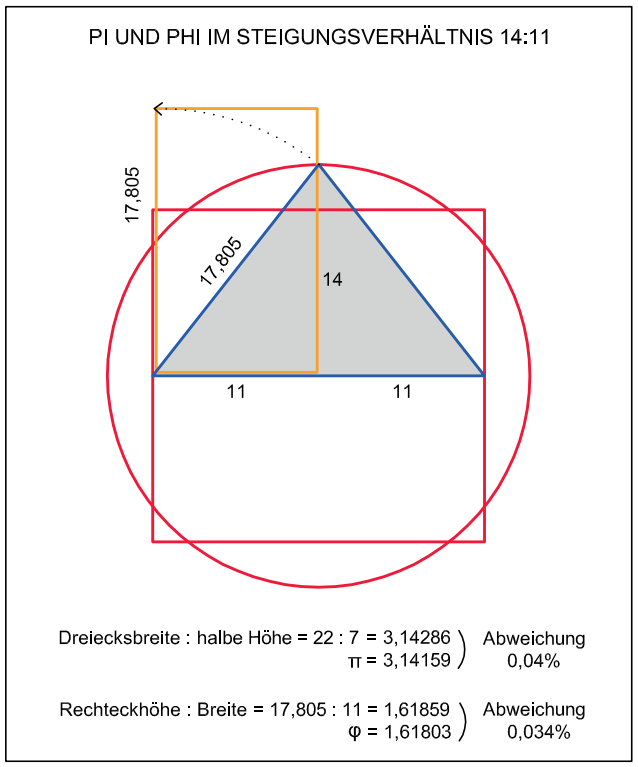
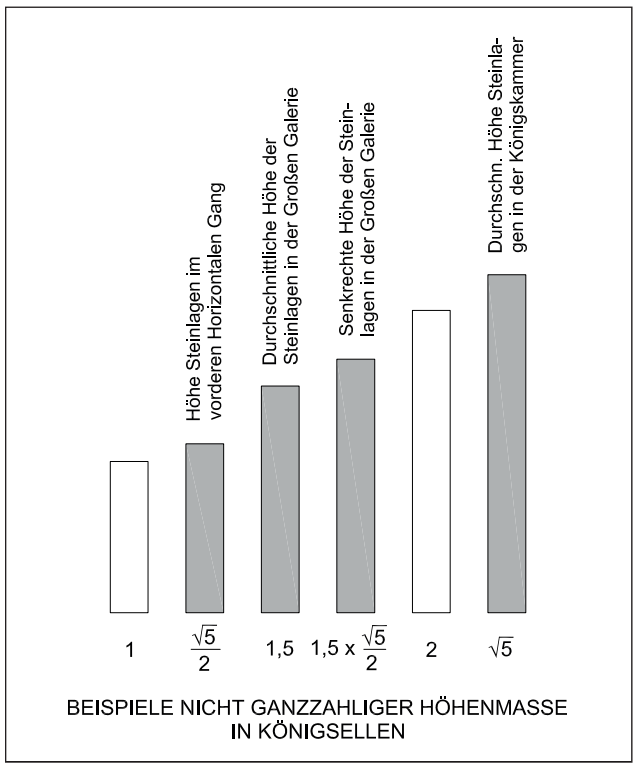


Abb. 293 oben: Im Steigungsverhältnis 14:11 sind in hoher Annäherung Pi und Phi enthalten. Daraus folgt, dass bei einer entsprechenden Pyramide der Umfang an der Basis nur um 0,04 % von dem des Großkreises durch die Pyramidenspitze abweicht. Durch Klappung der Falllinie in die Senkrechte entsteht ein Rechteck im Goldenen Schnitt (Abweichung 0,034 %).

Abb. 294 unten: Im Gegensatz zu den durchweg ganzzahligen Ellenmaßen in den horizontalen Abmessungen der Kammern und Gänge wird in der Vertikalen ein breites Spektrum auch nicht ganzzahliger Ellenmaße verwendet.



19. Die Form

Rückblick

Im Teil I dieser Abhandlung hatten wir uns bereits ausführlich mit der äußeren Form der Cheops-Pyramide befasst und waren zu einem ungewöhnlichen Ergebnis gelangt. Im Allgemeinen ist der individuelle Ausdruck eines Gebäudes durch eine Mischung aus funktionalen und konstruktiven Anforderungen sowie aus einem formalen Gestaltungswillen bestimmt. Nicht so bei den ägyptischen Pyramiden, wo sich der formale Ausdruck einzig und allein aus der Geometrie und der Zahl ableitet. Hier wurde keine Form entwickelt, sondern auf eine Urform der Geometrie, das Oktaeder, zurückgegriffen. Deshalb kann man bei den Pyramiden auch nicht von einem Baustil sprechen. Ein Baustil bringt innerhalb eines gesetzten Rahmens unterschiedliche Formen hervor und ermöglicht dadurch eine Weiterentwicklung. Die ägyptische Pyramide ist dagegen, bis auf ihre absolute Größe, immer gleich. Sie ist nur aus der Geometrie entwickelt und die ihr innewohnenden Zahlen Vier und Drei symbolisieren die Vereinigung des Irdischen mit dem Göttlichen (vergl. Abb. 93).

Überraschenderweise weichen die in der Praxis verwendeten Neigungswinkel der Pyramidenseiten von dem des Oktaeders ab. Die Abweichungen sind relativ gering und haben einen vermessungstechnischen Hintergrund. Da Winkel auf der Baustelle nicht nach ihrer Gradzahl, sondern nach ihrem Steigungsverhältnis bestimmt werden, benötigte man einfache und ganzzahlige Verhältniswerte, die jedoch beim Oktaeder-Winkel (54° 44’ 08’’) nicht gegeben sind. Die meisten Pyramiden sind nach nur zwei verschiedenen Steigungsverhältnissen erbaut, dem der Cheops-Pyramide mit 14:11 (51° 50’ 33’’) und dem der Chefren-Pyramide mit 4:3 (53° 07’ 48’’) (vergl. Abb. 99). Obwohl der Chefren-Winkel deutlich vorteilhafter ist, wurde für die größte Pyramide das schwierigere Steigungsverhältnis 14:11 ausgewählt. Es ist zu vermuten, dass die Gründe hierfür in der geometrischen Besonderheit dieses wohl einmaligen Zahlenverhältnisses zu sehen sind. Da ist zunächst der Umstand, dass bei der Neigung der Seitenwände von 14:11 auch der Diagonalwinkel bei den Pyramidenkanten mit 9:10 exakt ganzzahlig ist, eine einzigartige Übereinstimmung im gesamten näheren Umfeld des Oktaeder-Winkels und möglicherweise auch darüber hinaus. Dazu gesellt sich ein zunächst mysteriös anmutendes Phänomen, nach dem sich aus den Maßen der Cheops-Pyramide unmittelbar die Kreiszahl Pi und die Zahl Phi des Goldenen Schnitts in hoher Annäherung errechnen lässt. Es zeigte sich jedoch, dass hierfür nicht unmittelbar die Maße der Cheops-Pyramide, sondern ebenfalls das Steigungsverhältnis von 14:11 verantwortlich ist (Abb. 293). Es ist allein dieses Zahlenverhältnis, das diese Phänomene hervorbringt und das mit der Cheops-Pyramide, in Königsellen übertragen, im Maßstab 20:1 realisiert wurde. In Anbetracht der Fülle von ganzzahligen Relationen und zahlensymbolischen Bedeutungsinhalten scheint der Befund eindeutig. Nicht die Form stand im Vordergrund der Überlegungen, sondern die Formel aus Geometrie und Zahl. Insofern liegt es nahe, auch bei der Ausformung der Pyramideninnenräume ähnliche Zusammenhänge zu vermuten.

Abmessungen und Proportionen

Die detaillierte Analyse der Maße des oberirdischen Gang- und Kammersystems hat ergeben, dass nahezu alle Grundrissmaße mehr oder weniger exakt ganzzahligen Ellenwerten entsprechen. Dabei fungiert die Königselle als Grundeinheit, aus der sich die größeren Abmessungen durchweg als ganzzahlige Vielfache ableiten. In der Vertikalen geht es differenzierter zu. Hier finden sich oberhalb der 1-Königsellen-Marke regelmäßig auch 0,5-Königsellen-Schritte und vor allem die $\sqrt{5}$, die die Höhenabmessungen aus dem ganzzahligen Ellenschema ausbrechen lassen und die ein breites Spektrum unterschiedlicher Vertikalabmessungen ermöglicht (Abb. 294). Ein weiteres Grundprinzip des Maßgefüges betrifft die Steinlagenhöhen. Sowohl in den beiden Kammern als auch in der Großen Galerie hat man zunächst das Empfinden von jeweils gleich hohen Steinlagen (vergl. Abb. 172, 208 u. 230). Erst beim genaueren Hinsehen oder oft erst beim Nachmessen zeigen sich geringe Abweichungen, meist nur wenige Zentimeter, die sich über die Gesamthöhe der Räume gegenseitig ausgleichen und zu einem glatten Gesamtmaß aufaddieren. Gleich ist nicht identisch. Wie wir gesehen haben, wird dieses Prinzip aus arbeitsökonomischen Gründen angewendet, hier in den Innenräumen jedoch mit nur moderaten Abweichungen, die dem Betrachter dennoch ein harmonisches Bild von gleich hohen Steinlagen vermittelt. Im Gegensatz dazu steht das bewusste Negieren dieses ästhetischen Grundprinzips bei den Steinlagen der Pyramidenaußenseiten. Dass man selbst extreme Maßsprünge nicht ausgeglichen hat, ist in Anbetracht der harmonisch geordneten Steinlagenhöhen im Pyramideninnern nur damit zu erklären, dass die Schichthöhen nicht sichtbar waren und dass die Pyramide wahrscheinlich bemalt war.

Es ist unübersehbar, dass die Abmessungen der einzelnen Räume nicht nur aus durchweg ganzzahligen Ellenwerten bestehen, sondern dass auch die Raumproportionen, also das Verhältnis von Raumbreite zu Raumlänge oder das von Raumbreite zu Raumhöhe, eine besondere Rolle spielen. Dabei kommt der $\sqrt{5}$ eine ganz außerordentliche Bedeutung zu. Die offensichtlich ganz bewusst eingesetzte irrationale Wurzelzahl ist, besonders was die Raumhöhen betrifft, eine zentrale Größe in weiten Teilen des Gang- und Kammersystems. Daher erscheint es gerechtfertigt, die $\sqrt{5}$ bei der Betrachtung der Proportionen als große Ausnahme in die Reihe der ganzen Zahlen in der Pyramide aufzunehmen. In Abbildung 295 sind die wichtigsten Raumproportionen in den beiden Kammern und in der Großen Galerie verdeutlicht. Der Grundriss der Königskam-

mer (oben) ist exakt auf der als göttlich angesehenen Proportion 1:2 aufgebaut, die aus den beiden ursprünglichsten Zahlen überhaupt, der Eins und der Zwei, gebildet wird. In der Musik erzeugen die Schwingungen einer im Längenverhältnis von 1:2 geteilten Saite die Oktave, den harmonischsten aller Zweiklänge. Mit den Proportionen $\sqrt{5}$:2 und $\sqrt{5}$:4 der Kammerwände kommt durch den Wurzelwert ein dynamisches Element ins Spiel, das die Kopfwand über das Quadrat hinaus in ein stehendes Rechteck überführt und dem Raum einen aufstrebenden Charakter verleiht (vergl. Abb. 183). Die Proportion $\sqrt{5}$:2 wird auch für die Eingangsöffnung übernommen. Bei der Großen Galerie (Mitte) sind selbstverständlich nur die Proportionen des architektonischen Raums oberhalb der Großen Treppe maßgebend. Das unter der Treppe verborgene Lager für die 24 Blockiersteine bleibt als rein technischer Bereich unberücksichtigt (vergl. Abb. 209). Demnach bemisst sich der Raumquerschnitt senkrecht zur Treppenschräge mit der Proportion 3:1. In der Senkrechten vergrößert sich der Wert um den Faktor $\frac{1}{2}\sqrt{5}$.

In der Königinnenkammer schließlich (unten) gibt es nur noch echte ganzzahlige Proportionen. Wir hatten schon festgestellt, dass das durch die $\sqrt{5}$ beeinflusste vertikale Maßsystem des königlichen Bereichs im Horizontalen Gang bei der Stufe endet (vergl. Abb. 220). Die Königinnenkammer hat eine Grundrissproportion von 10:11, die sich in der Giebelwand bis zum First nochmals wiederholt. Die Giebelwand bis zur Traufe hingegen hat eine Proportion von 4:5. Die Überlagerung der beiden Rechtecke, das eine stehend, das andere liegend, führt zu einer sehr ausgewogenen, in sich ruhenden Gesamtproportion. Dazu trägt auch der Umstand bei, dass sich zwischen Firstlinie und Kammerboden ein Quadrat (Proportion 1:1) aufspannt. Bemerkenswert ist, dass beide Eingänge, der in der Kragnische und der in Richtung Horizontaler Gang, mit der Proportion 4:5 diejenige der Kopfwand wieder aufnehmen, ebenso wie dies bei der Königskammer schon festgestellt wurde.

Das Maßsystem der Königskammer

Wir hatten schon bei der detaillierten Betrachtung der Königskammer erkannt, dass die $\sqrt{5}$ das gesamte oberirdische Gang- und Kammersystem, mit Ausnahme der Königinnenkammer, durchdringt (vergl. Abb. 182). Der eigentliche Ursprung dieser immer wieder auftauchenden Wurzelzahl liegt in der Grundrissproportion der Königskammer selbst. Die Diagonale eines Rechtecks mit der Proportion 1:2 bemisst sich mit $\sqrt{5}$ (Abb. 296). Damit allein wird diese Wurzelzahl aber noch nicht zum integralen Bestandteil des Zahlensystems der Pyramide. Im Quadrat, der Proportion 1:1 beispielsweise, bemisst sich die Diagonale mit $\sqrt{2}$. Man könnte nun durchaus erwarten, dass in einem derart durch das Quadrat bestimmten geometrischen Körper wie dem der Pyramide die $\sqrt{2}$ eine Rolle spielt. Sie tut es aber nicht. Auch die Königskammer selbst besteht im Grundriss aus zwei Quadraten, die $\sqrt{2}$ bleibt aber in der Diagonalen

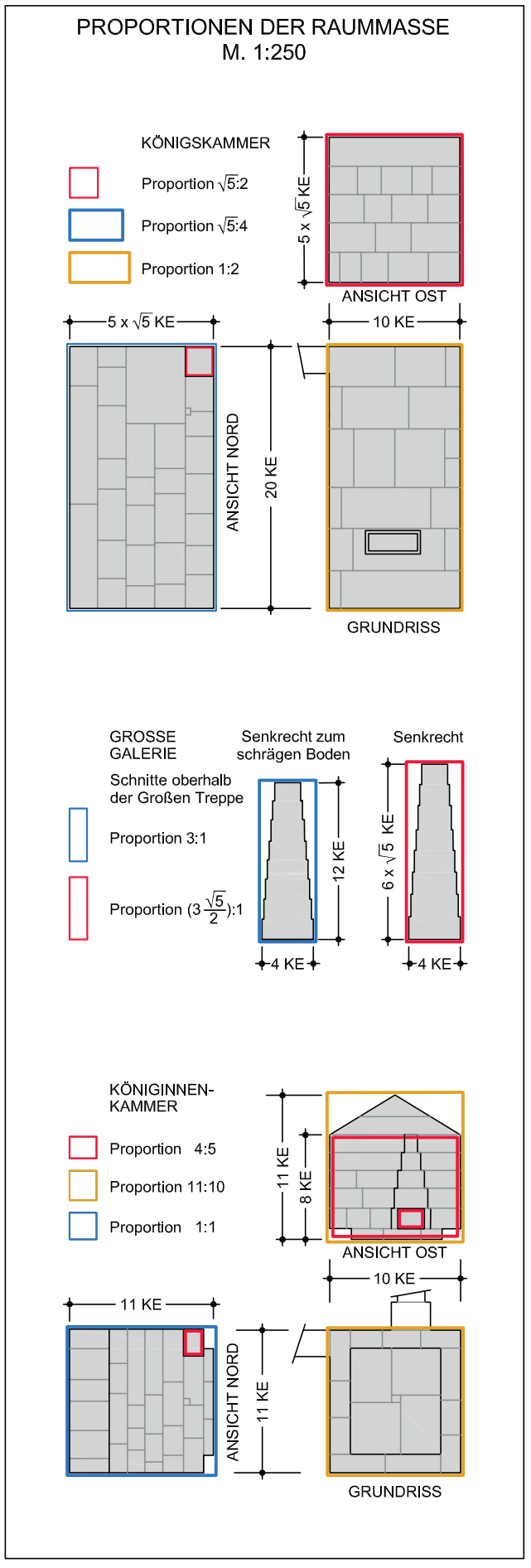


Abb. 295 links: Es ist offensichtlich, dass sich die Abmessungen der Räumlichkeiten auf bestimmte ganzzahlige Proportionen zurückführen lassen. Dabei spielt die $\sqrt{5}$ eine zentrale Rolle, sodass es gerechtfertigt erscheint, diese eine Wurzelzahl im Sinn der Zahlenlogik der Cheops-Pyramide als große Ausnahme in die Reihe der ganzen Zahlen aufzunehmen.

Abb. 296 unten: Mit Ausnahme der Königinnenkammer sind die Vertikalmaße des gesamten oberirdischen Gang- und Kammersystems durch die $\sqrt{5}$ geprägt. Der Ursprung dieser immer wieder auftauchenden Wurzelzahl liegt in der Grundrissproportion der Königskammer von 1:2, deren Diagonale sich mit $\sqrt{5}$ bemisst.

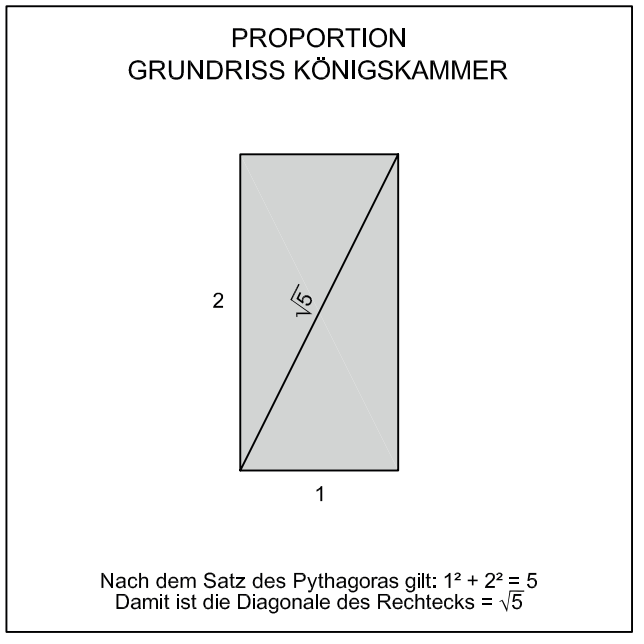
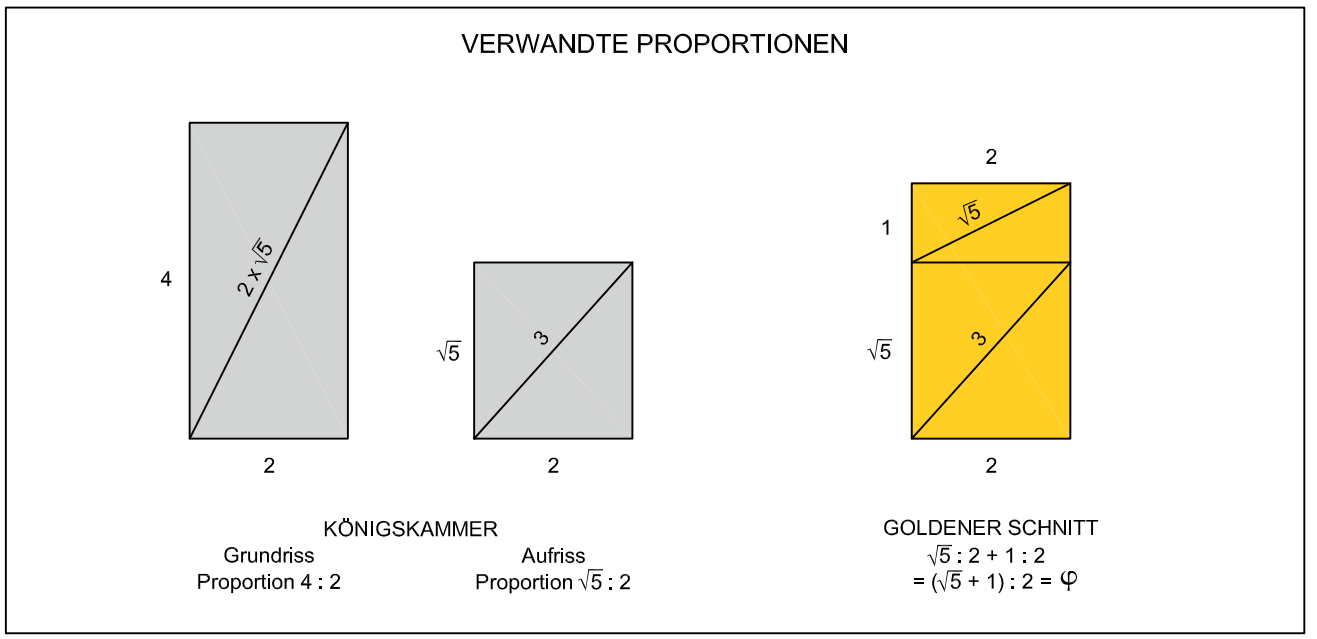


Abb. 297: Zwischen den Proportionen der Königskammer und der des Goldenen Schnitts besteht eine enge Verwandtschaft. Die Addition der Proportionen von Königskammer-Aufriss $\sqrt{5}$:2 und Königskammer-Grundriss 1:2 ergibt die Proportion des Goldenen Schnitts mit ($\sqrt{5}$ + 1):2. Es ist die unmittelbare Übertragung der algebraischen Formel in eine exakte geometrische Konstruktion.



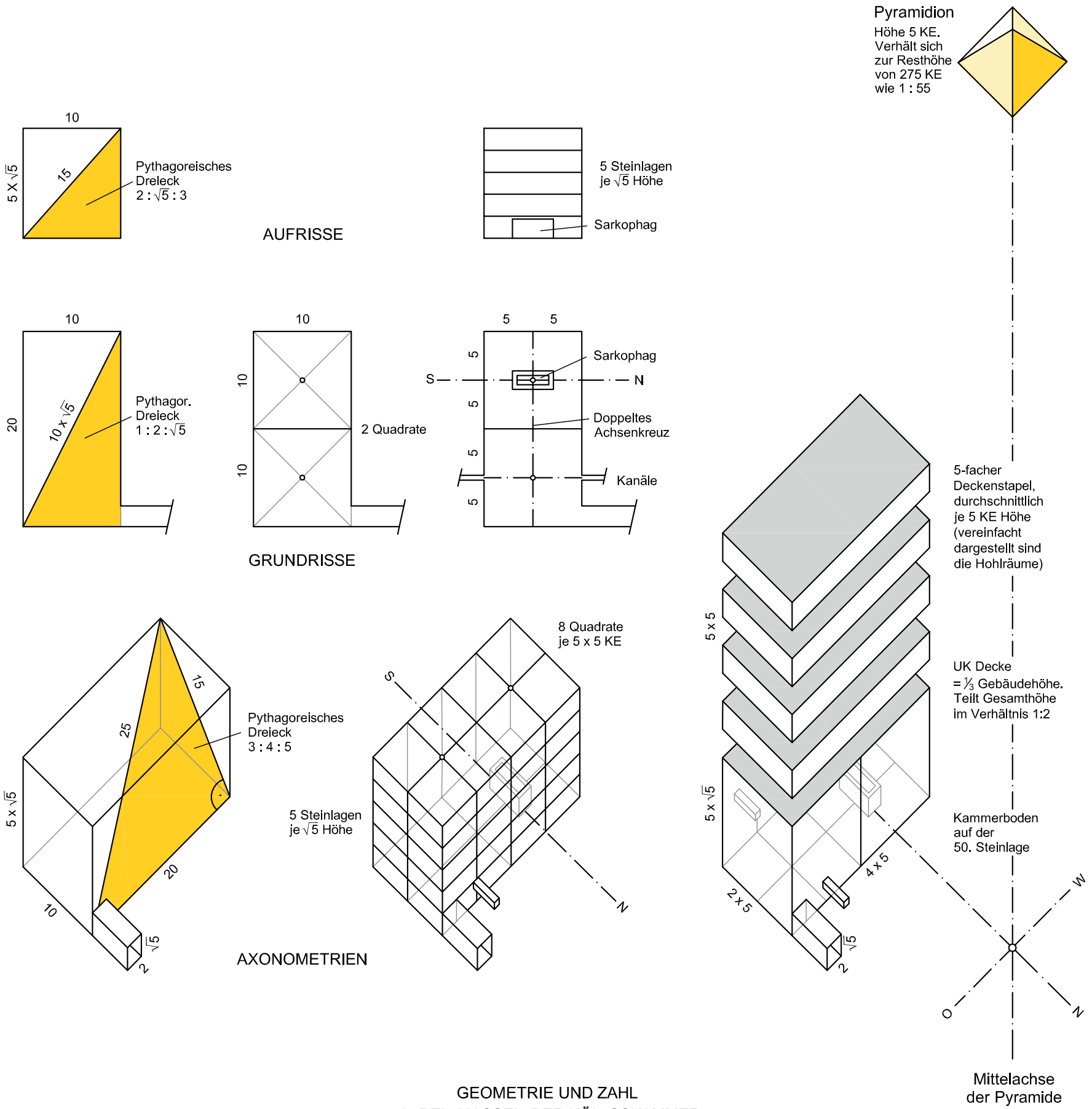
verborgen, ebenso wie zunächst die $\sqrt{5}$ als Diagonale des Rechtecks. Erst durch die Überführung der $\sqrt{5}$ in das orthogonale Maßsystem, als maßgeblichen Faktor für die Höhe der Kammer, wird die Wurzelzahl zum sichtbaren Bestandteil des Maßsystems. Das ist das Außergewöhnliche im Zahlensystem der Königskammer. Mit der Übernahme der Proportion 1:2 für das Steigungsverhältnis der Gänge und der Großen Galerie sowie der Proportion $\sqrt{5}$:2 für die Querschnitte aller Gänge durchdringen diese beiden Proportionen über die Königskammer hinaus auch den gesamten königlichen Bereich. So kann man feststellen, dass der Proportion 1:2 und der ihr innewohnende $\sqrt{5}$ eine ähnlich bestimmende Bedeutung für den geometrischen Aufbau der königlichen Räume zukommt wie dem Zahlenverhältnis von 14:11 für die äußere Geometrie des Bauwerks.

In diesem Zusammenhang sei noch auf ein weiteres durch die $\sqrt{5}$ bestimmtes Rechteck hingewiesen, das in enger Verwandtschaft zu den maßgeblichen Rechtecken der Königskammer steht, nämlich auf das des Goldenen Schnitts. In Abbildung 297 sind die beiden Rechtecke der Königskammer dem Rechteck des Goldenen Schnitts gegenübergestellt. Um alle drei Rechtecke auf den gleichen Maßstab zu bringen, wurde die Grundrissproportion der Königskammer auf 4:2 vergrößert, sodass alle Schmalseiten der Rechtecke gleich groß sind. Dabei wird auch deutlich, dass die Raumhöhe gleich der Hälfte der Raumdiagonalen ist. Überraschenderweise lässt sich das Rechteck im Goldenen Schnitt aus den Proportionen der beiden anderen Rechtecke zusammensetzen, nämlich aus der Addition von Rechteck $\sqrt{5}$:2 plus Rechteck 1:2 oder zusammengefasst ($\sqrt{5}$ + 1) : 2. Es ist die unmittelbare Übertragung der algebraischen Formel in eine exakte geometrische Konstruktion, während die Konstruktion mithilfe des Steigungsdreiecks der Cheops-Pyramide von 14:11 nur näherungsweise ein Rechteck im Goldenen Schnitt erzeugt (vergl. Abb. 114). Dies zeigt eindrucksvoll die enge Verwandtschaft der Proportion des Goldenen Schnitts mit denen der Königskammer auf. Grundriss und Querschnitt der Kammer sind Teilaspekte des Goldenen Schnitts, wobei offenbleibt, ob das den Erbauern bewusst war.

In Abbildung 298 sind die wesentlichen geometrischen Verflechtungen sowie der Zahlenaufbau in der Königskammer zusammenfassend dokumentiert (vergl. auch Abb. 177 – 181). Auf der linken Seite ist untereinander in Aufriss, Grundriss und Axonometrie der geometrische Aufbau des Raums mit seinen orthogonalen und diagonalen Abmessungen dargestellt. Alles sind glatte Ellenmaße, die sich zudem sämtlich durch fünf teilen lassen, zuzüglich des Faktors $\sqrt{5}$. Es bilden sich im Aufriss, im Grundriss und im Raum drei pythagoreische Dreiecke (gelb). Wie die Abbildungen in der Mitte zeigen, kann man die Geometrie der Kammer auch anders lesen. Die Teilung des Grundrisses in zwei Quadrate bildet zwei Mittelpunkte aus, die ihrerseits ein doppeltes Achsenkreuz aufspannen. Hierdurch bilden sich acht kleine Quadrate je 5 x 5 Königsellen, die sich in der Vertikalen zu je fünf Steinlagen auftürmen. Dieses geometrische Muster bildet die Grundlage für die Festlegung des Standorts für den Sarkophag, die beiden Kanäle und für die vertikale Wandgliederung, also für die Zonierung und Möblierung des Raums. Andere, längst verloren gegangene Gegenstände werden sich wohl ebenfalls an diesem Muster orientiert haben.

In der axonometrischen Zeichnung rechts sind weitere geometrische Beziehungen aufgezeigt, die über die eigentliche Kammer hinausgehen. Am auffälligsten ist die Häufigkeit, mit der die Zahl Fünf und deren Abwandlungen als Vielfache oder als Wurzelzahl Verwendung finden. Wir hatten bereits auf deren Symbol für die ewige Schöpfung und die Kraft des Universums hingewiesen. Das häufige Auftauchen dieser einen Zahl, auch über die eigentliche Kammer hinaus, ist ein weiteres Indiz für eine exakte Planung der Königskammer an dieser Stelle und in diesen Abmessungen. So etwas entsteht nicht zufällig oder infolge mehrerer gravierender Planänderungen.

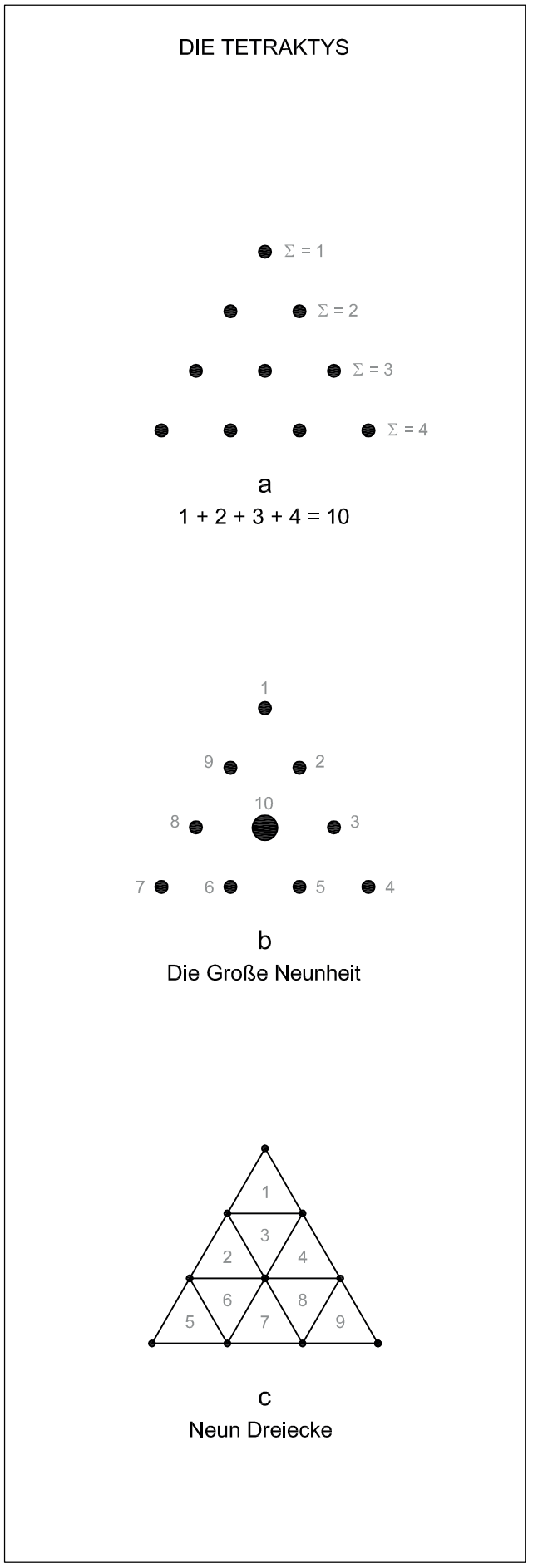
Abb. 298 rechte Seite: Die Abmessungen und Proportionen innerhalb der Königskammer sind in mehrfacher Hinsicht bemerkenswert. Auf der linken Seite ist untereinander in Aufriss, Grundriss und Axonometrie der geometrische Aufbau der Kammer mit ihren orthogonalen und diagonalen Abmessungen dargestellt. Alles sind glatte Ellenmaße, die sich zudem sämtlich durch fünf teilen lassen, zuzüglich des Faktors $\sqrt{5}$. Die Zeichnungen in der Mitte zeigen eine andere Lesart der Kammergeometrie. Die Teilung des Grundrisses in zwei Quadrate führt zu einem doppelten Achsenkreuz, das bestimmend ist für die Zonierung des Raums. In der axonometrischen Darstellung rechts sind weitere geometrische Beziehungen aufgezeigt, die über die eigentliche Kammer hinausgehen. Am auffälligsten insgesamt ist die Häufigkeit, mit der die Zahl Fünf und ihre Abwandlungen als Vielfache oder als Wurzelzahl Verwendung finden. So etwas entsteht nicht zufällig, sondern weist auf eine exakte Planung hin.



GEOMETRIE UND ZAHL
IN DEN MASSEN DER KÖNIGSKAMMER
M.1:250
Alle Maße in Königsellen

Abb. 299: Die Tetraktys ist eine mystische Figur und stellt die Gesamtheit der Zahlen Eins, Zwei, Drei und Vier dar, deren Summe zehn ergibt (a). Die Zehn galt sowohl den Griechen als auch den Ägyptern als heilige Zahl. Die vier Zahlen wurden durch Punkte ausgedrückt und in Form eines gleichseitigen Dreiecks untereinandergeschrieben. Der Begriff Tetraktys stammt aus der Zahlenlehre der Pythagoreer. Die Figur selbst ist vermutlich altägyptisch, wenn nicht noch älter.

Unter den zehn Punkten der Tetraktys gibt es einen besonderen Punkt. Es ist die Mitte des Dreiecks, um die die neun übrigen Punkte oder die neun Ziffern angeordnet sind (b). Im Dezimalsystem gibt es nur neun Ziffern, die Zehn ist die Wiederholung der Eins auf einer anderen Ebene. In der Terminologie der Pythagoreer wurde die Tetraktys daher auch als Große Neunheit bezeichnet. Auch in der geometrischen Ausformung, mit Verbindungslinien zwischen den Punkten, zeigt sich die Neun in Form von neun gleichseitigen Dreiecken (c).



Die Tetraktys

Der griechische Mathematiker und Philosoph Pythagoras (ca. 570 – 490 v. Chr.) wurde auf der Insel Samos geboren. Er war der Sohn eines Goldschmieds, der ihm eine vorzügliche Ausbildung zukommen ließ. Nach dem Tod seines Lehrers lebte er in Ägypten, wo er über lange Jahre durch dortige Priester Stufe für Stufe in die Weisheiten und Mysterien der altägyptischen Lehre eingeführt wurde. Wahrscheinlich erwarb Pythagoras dort seine Kenntnisse in den späteren vier typischen Wissenschaften der Pythagoreer, der Himmelskunde, Geometrie, Zahlenlehre und der Musik. Nach seiner Rückkehr auf seine Heimatinsel Samos übersiedelte er später als Vierzigjähriger nach Unteritalien in den antiken Ort Kroton, wo er eine Schule gründete, aus der nach seinem Tod der Bund der Pythagoreer hervorging. Der sogenannte Satz des Pythagoras, nach dem in einem rechtwinkligen Dreieck die Summe der beiden Kathetenquadrate gleich dem Hypotenusenquadrat ist, war den Alten Ägyptern mit Sicherheit bekannt. Anders wäre die vielfache Anwendung pythagoreischer Dreiecke in den Kammern und Gängen der Cheops-Pyramide nicht zu erklären. Pythagoras war vermutlich nur der Erste, der den mathematischen Beweis für den nach ihm benannten Lehrsatz gefunden hat.

Ähnlich verhält es sich vermutlich mit der Tetraktys, einer mystischen und sehr bedeutungsvollen Figur (Abb. 299 a). Der Begriff der Tetraktys stammt aus der Zahlenlehre der Pythagoreer und bezeichnet die Gesamtheit der Zahlen Eins, Zwei, Drei und Vier, deren Summe zehn ergibt. Da die Zehn sowohl bei den Griechen als auch bei den Ägyptern als Grundzahl für das Dezimalsystem diente, und wegen des Zusammenhangs mit der Tetraktys, wurde die Zehn auch als heilige Zahl bezeichnet. Bezeichnenderweise bildet die Proportion 1:2, mit zehn multipliziert, das Grundrissrechteck der Königskammer. Die Tetraktys wurde mit Zählsteinen oder Punkten ausgedrückt, indem die vier Zahlen untereinander in Form eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet wurden, einer Figur mit hoher Symbolkraft, deren Verwandtschaft mit der Pyramidenform unübersehbar ist. Auch in der Musik fand man phänomenale Entsprechungen. Die drei harmonischen Zweiklänge der Tonleiter, Quarte, Quinte und Oktave, denen die Zahlenverhältnisse 4:3, 3:2 und 2:1 entsprechen, können mit den vier Zahlen der Tetraktys ausgedrückt werden. Die Tetraktys war die heilige Vier, auf die die Pythagoreer den höchsten Eid schworen. Was heute als pythagoreische Zahlenmystik bezeichnet wird, ist vermutlich ursprünglich altägyptisch, wenn nicht noch älter.

Die Tetraktys kann auch auf eine andere Art gelesen werden (Abb. 299 b). Es gibt unter den zehn Punkten der Tetraktys einen besonderen Punkt, der sich von den anderen grundsätzlich unterscheidet, nämlich der in der Mitte des Dreiecks, um den die neun übrigen Punkte angeordnet sind. Auch im Dezimalsystem gibt es eigentlich nur neun Ziffern, die Zehn ist die Wiederholung der Eins. So wie sich in der Oktave der Grundton wiederholt, die Tonleiter hat nur sieben Töne, sind die Zehn und alle folgenden Zahlen eine Wiederholung einer der neun Ziffern, nur auf einer anderen

Ebene. Die Große Neunheit, wie die Tetraktys in der Terminologie des Pythagoras auch genannt wird, symbolisiert somit die Wiederholung oder die Rückkehr zum Ursprung und findet auch ihren Ausdruck im sich ständig wiederholenden Konstruktionsraster von 9 x 9 Königsellen. Auch in der geometrischen Ausformung der Tetraktys, mit Verbindungslinien zwischen den Punkten, zeigt sich die Neun in Form von neun gleichseitigen Dreiecken (Abb. 299 c). Der geometrische Gleichklang zwischen der Tetraktys und der Dreiecksform der Pyramide ist offensichtlich.[30]

Bei der Analyse der Kammern und Gänge hatte sich gezeigt, dass allein die Königskammer in ihrer absoluten Höhenlage innerhalb der Pyramide fest determiniert ist. Die Unterkante der Kammerdecke liegt exakt auf einem Drittel der Bauwerkshöhe und teilt die Gesamthöhe im Verhältnis von 1:2, im gleichen Verhältnis wie der Grundriss der Königskammer. Die Kammer besteht aber nicht nur aus dem Raum und seinen Umfassungswänden, sondern offensichtlich auch aus den fünf übereinandergestapelten Steindecken, die zu ihrer Stabilisierung erheblich beitragen. Bezeichnend für die inhaltliche Zugehörigkeit des Deckenstapels zum Raum selbst ist die Wiederholung der die Kammer bestimmenden Zahl fünf in der Anzahl der Decken. Hier hätten, rein statisch betrachtet, vermutlich drei oder vier Steindecken den Zweck einer hohen Belastung ebenso gut erfüllt. Kammer und Deckenstapel bilden nicht nur konstruktiv, sondern offensichtlich auch inhaltlich eine Einheit. Die Unterkante der Kammerdecke bildet sozusagen den vertikalen Schwerpunkt des inneren Hauses der Haus-in-Haus-Bauweise und teilt die Gesamthöhe in zwei Teile, die der Kammer mit 5 x $\sqrt{5}$ Königsellen und die des Deckenstapels mit 5 x 5 Königsellen (vergl. Abb. 184 – 186).

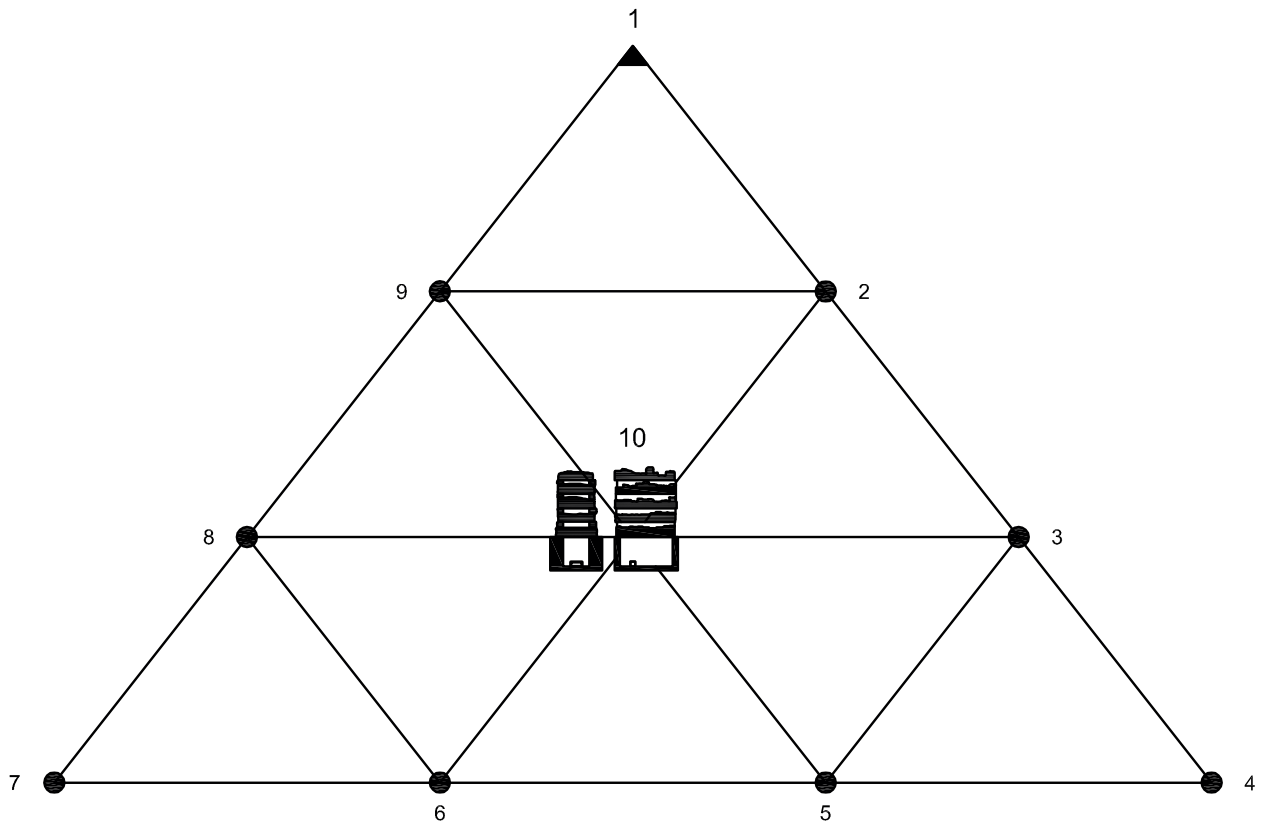
In Abbildung 300 ist die Königskammer unter Ausblendung aller übrigen Gänge und Kammern in eine dem Querschnitt der Cheops-Pyramide angepasste Tetraktys übertragen. Dabei sind die beiden Kammerschnitte in nordsüdlicher und ostwestlicher Richtung in ihrer jeweiligen Position überlagert in einer Zeichnung dargestellt. Spätestens mit dieser Figur wird deutlich, dass die Lage der Königskammer innerhalb der Pyramide nicht das Ergebnis einer verworrenen Planungsgeschichte, sondern der Ausgangspunkt aller planerischen Überlegungen war. Hier, im Schwerpunkt des Dreiecks und in der Mitte der Tetraktys, sollte der Ort für den toten Pharao sein, so lautet die eindeutige Botschaft. Zwar ruht der Pharao nicht im geometrischen Mittelpunkt der Pyramide, die Gründe hierfür wurden ausführlich erörtert, aber dennoch im Zentrum des Bauwerks. Was sich bereits bei der Analyse des konstruktiven Aufbaus der Pyramide angedeutet hatte, tritt nun klar hervor. Schon mit Beginn des Bauwerks war alles darauf ausgerichtet, dass die Königskammer auf dieser Höhe und in dieser Positionierung errichtet werden konnte. Mit der Verengung am Beginn des Aufsteigenden Gangs unmittelbar oberhalb des inneren Felskerns stand bereits fest, dass man nach Fertigstellung des Gangs und der weiter führenden Großen Galerie, beide mit dem Steigungsverhältnis von 1:2, am Ende auf der 50. Steinlage das Niveau der Königskammer erreichen würde. Die Lage aller übrigen Räumlichkeiten leitet sich letztlich von der vorgegebenen Positionierung der Königskammer ab.

Damit findet die Analyse der Cheops-Pyramide nach Funktion, Konstruktion und Form ein vorläufiges Ende. Die gewonnenen Erkenntnisse haben zu einer neuen Interpretation für die Existenz der drei Kammern und infolgedessen zur Theorie von drei völlig eigenständigen Gang- und Kammersystemen geführt, die jedes für sich einem anderen Zweck dienten. Mit der Beisetzung des Pharaos wurde zunächst nur der königliche Bereich verschlossen. Der Komplex der Königinnenkammer mit senkrechtem Schacht und ostwestlichem Verbindungsgang sowie derjenige des Absteigenden Gangs mit Felsenkammer blieben weiterhin zugänglich, der eine nur Eingeweihten bekannt, der andere als Irreleitung potenzieller Grabräuber (vergl. Abb. 265). Die Richtigkeit dieser Annahme wird nun durch die Erkenntnis untermauert, dass die Königskammer offensichtlich von Beginn an in dieser Lage eingeplant wurde, wodurch die beiden anderen Kammern für diese Funktion endgültig ausscheiden. Durch die Annahme eines quadratischen Konstruktionsrasters schließlich hat sich die spezifische Geometrie des Gang- und Kammersystems auch als eine Folge dieser Grundstruktur herausgestellt und hat zu einem Bauwerk mit 24 Etagen geführt. Wenn wir uns im Folgenden mit der Baudurchführung und im Speziellen auch mit dem Problem des Steintransports beschäftigen, werden sich mögliche Theorien auch daran messen lassen müssen, ob sie mit den bisherigen Erkenntnissen in Einklang zu bringen sind.

Fazit

Die Analyse des inneren Gang- und Kammersystems nach gestalterischen Gesichtspunkten hat gezeigt, dass die unterschiedlichen Geometrien der Räume und Gänge auf ganz bestimmte ganzzahlige Proportionen zurückzuführen sind. Wie schon bei der äußeren Gestalt der Pyramide nachgewiesen wurde, folgen auch die Formen der Innenräume ausschließlich den Gesetzen von Geometrie und Zahl. War für das äußere Erscheinungsbild der Pyramide das Steigungsdreieck von 14:11 von ausschlaggebender Bedeutung, sind im Inneren die als königlich geltende Proportion von 1:2 sowie deren Diagonale $\sqrt{5}$ für weite Teile der Räumlichkeiten die bestimmenden Größen. Darüber hinaus durchdringt die Zahl fünf als Symbol für die ewige Schöpfung in vielfältiger und unterschiedlicher Weise die Königskammer und verleiht damit diesem Raum eine absolute Sonderstellung. Mit der Aufdeckung des Zusammenhangs zwischen der mystischen Figur der Tetraktys und der Lage der Königskammer innerhalb der Pyramide hat sich die Theorie der mehrfachen Planänderungen endgültig erledigt. Die Königskammer ist der Ausgangs- und Mittelpunkt aller planerischen Überlegungen. Sie ist der Schlüssel für das gesamte Bauwerk.

Abb. 300 nächste Seite: In der maßstäblichen Zeichnung ist die Königskammer unter Ausblendung aller übrigen Gänge und Kammern in eine dem Querschnitt der Cheops-Pyramide angepasste Tetraktys übertragen. Dabei sind die beiden Kammerschnitte in nordsüdlicher und ostwestlicher Richtung in ihrer jeweiligen Position überlagert in einer Zeichnung dargestellt. Die Figur verdeutlicht schlagartig die Sonderstellung der Königskammer innerhalb der Pyramidenform, im Schwerpunkt des Dreiecks und in der Mitte der Tetraktys. Die Symbolkraft der Zahlenpositionen von eins und zehn für das Pyramidion und die Königskammer verstärken diesen Eindruck. Darüber hinaus widerlegt die Figur die Theorie mehrfacher Planänderungen zugunsten der gefestigten Erkenntnis, dass die Königskammer der Ausgangspunkt aller planerischen Überlegungen war.



DIE KÖNIGSKAMMER ALS
MITTELPUNKT EINER TETRAKTYS
M.1:1500