

# Inhaltsverzeichnis

- Vorwort . . . . . 5
- 1. Einleitung . . . . . 15
- 2. Definitionen und Festlegungen . . . . . 23
  - 2.1 Definitionen Baustrukturen . . . . . 23
  - 2.2 Definitionen Mauerwerk. . . . . 27
  - 2.3 Längenbezeichnungen . . . . . 30
  - 2.4 Festlegungen. . . . . 30
- 3. Zeitliche Entwicklung des Pyramidenbaus im Alten und Mittleren Reich . . . . . 31
  - 3.1 Regierungszeiten . . . . . 31
  - 3.2 Radiocarbonmethode . . . . . 34
- 4. Bau- und Transporttechniken im Alten Reich . . . . . 37
  - 4.1 Bauplanung, Bauwissen und Baustellenlogistik . . . . . 37
  - 4.2 Baumaterial . . . . . 42
    - 4.2.1 Steingewinnung und Steinbearbeitung . . . . . 42
    - 4.2.2 Ungebrannte Ziegel . . . . . 51
  - 4.3 Mauerbau, Steinbauten und Fundamentierung. . . . . 54
    - 4.3.1 Mauerbau . . . . . 54
    - 4.3.2 Steinbauten . . . . . 57
    - 4.3.3 Deckenkonstruktionen und Gewölbe . . . . . 58
      - 4.3.3.1 Grabkammern im Felsuntergrund . . . . . 58
      - 4.3.3.2 Grabkammern innerhalb der Pyramide . . . . . 58
      - 4.3.3.3 Deckenkonstruktionen. . . . . 59
    - 4.3.4 Fundamentierungen der Pyramiden. . . . . 70
  - 4.4 Hebeeinrichtungen. . . . . 74
    - 4.4.1 Balken und Stangen. . . . . 74
    - 4.4.2 Anheben und Absenken schwerer Lasten mittels Seiltechnik . . . . . 75
      - 4.4.2.1 Seilumlenkung. . . . . 75
      - 4.4.2.2 Seile . . . . . 79
      - 4.4.2.3 Das Fallsteinsystem vor der Grabkammer des Königs in der Cheops Pyramide . . . . . 81
      - 4.4.2.4 Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer der Mykerinos Pyramide . . . . . 86
      - 4.4.2.5 Aufrichten von Pfeilern sowie Statuen und Anheben von Steinblöcken. . . . . 88
    - 4.4.3 Zusammenfassung Hebeeinrichtungen . . . . . 93

- 4.5 Transport von Baumaterialien auf ein höheres Niveau . . . . . 94
  - 4.5.1 Schiefe Ebene . . . . . 94
    - 4.5.1.1 Zugkräfte (Gleitreibung) . . . . . 94
    - 4.5.1.2 Zugkräfte (Rollreibung) . . . . . 100
    - 4.5.1.3 Zugkräfte (aufwärtsgerichtet) . . . . . 102
    - 4.5.1.4 Zugkräfte (abwärtsgerichtet) . . . . . 104
  - 4.5.2 Rampen . . . . . 105
    - 4.5.2.1 Sechemchet Pyramide . . . . . 106
    - 4.5.2.2 Kleine Schichtpyramiden Altes Reich . . . . . 106
    - 4.5.2.3 Meidum Pyramide . . . . . 107
    - 4.5.2.4 Rote Pyramide in Dahschur Nord . . . . . 109
    - 4.5.2.5 Cheops Pyramide . . . . . 110
    - 4.5.2.6 Aufweg zur Djedefre Pyramide in Abu Roasch. . . . . 112
    - 4.5.2.7 Rampe im Steinbruch von Hatnub. . . . . 113
    - 4.5.2.8 Sonnenheiligtum des Niuserre . . . . . 115
    - 4.5.2.9 Pyramiden des Mittleren Reiches . . . . . 115
    - 4.5.2.10 Transportstraße für den Schiffstransport am zweiten Katarakt. . . . 116
    - 4.5.2.11 Zusammenfassung: Verwendung von Rampen  
beim Pyramidenbau . . . . . 117
  - 4.5.3 Transportmittel . . . . . 118
  - 4.5.4 Transport von Leitern mittels Scheibenrädern . . . . . 127
- 4.6 Transport von Baumaterialien über Wasserwege . . . . . 128
  - 4.6.1 Wasserwege . . . . . 128
  - 4.6.2 Hafenanlagen . . . . . 129
  - 4.6.3 Schiffe und Lastkähne. . . . . 132
    - 4.6.3.1 Unterschiedliche Arten von Nilschiffen . . . . . 132
    - 4.6.3.2 Transport von Säulen zur Unas Pyramide . . . . . 133
- 4.7 Vermessungstechnik . . . . . 136
  - 4.7.1 Während der Bauarbeiten durchzuführende Vermessungsarbeiten. . . . . 137
    - 4.7.1.1 Festlegen der Maßeinheiten und Nivellierung . . . . . 137
    - 4.7.1.2 Streckenmessung. . . . . 138
    - 4.7.1.3 Ausrichtung der Nord- Süd-Achse . . . . . 138
    - 4.7.1.4 Neigung der Seitenflächen . . . . . 139
  - 4.7.2 Maßeinheiten . . . . . 140
  - 4.7.3 Streckenmessung und Markierung einer Geraden . . . . . 140
  - 4.7.4 Messverfahren zur waagerechten Nivellierung. . . . . 144
  - 4.7.5 Winkelmessung . . . . . 149
  - 4.7.6 Ausrichtung der Pyramidenkanten nach den Himmelsrichtungen. . . . . 152
  - 4.7.7 Einhalten der festgelegten Neigung der Steinschichten der  
Außenverkleidung und der Seitenflächen der Pyramiden . . . . . 155

4.7.8	Vermessen der Grabkammerkorridore . . . . .	160
4.7.9	Kontrollmessungen ebener Flächen . . . . .	161
4.7.10	Zusammenfassung: Vermessungstechnik . . . . .	163
4.8	Mathematikkenntnisse. . . . .	163
4.9	Moderne archäologische Untersuchungsverfahren zur Bautechnik . . . . .	168
4.9.1	Satellitentechnik für Geländeuntersuchungen . . . . .	168
4.9.2	Einsatz von 3D Fotogrammetrie und von Drohnen . . . . .	169
4.9.3	Dichtemessung von Pyramiden anhand der Myonenstrahlung . . . . .	170
4.9.4	Radartechnik und Ultraschall. . . . .	175
4.9.5	Infrarot-Wärmeuntersuchungen . . . . .	178
4.9.6	Laserscanner. . . . .	179
4.10	Seismizität . . . . .	180
4.11	Ausrichtungen der Pyramidenfelder des Alten Reichs in Richtung Heliopolis . . . .	183
5.	Archäologische Befunde an Pyramiden . . . . .	187
5.1	Pyramiden des Alten Reichs, der Ersten Zwischenzeit und des Mittleren Reichs . . .	187
5.1.1	Schichtpyramiden . . . . .	187
5.1.1.1	Djoser Pyramide . . . . .	187
5.1.1.2	Sechemchet Pyramide . . . . .	195
5.1.1.3	Chaba Pyramide . . . . .	197
5.1.1.4	Kleine Schichtpyramiden Altes Reich . . . . .	199
5.1.2	Pyramiden des Snofru . . . . .	202
5.1.2.1	Meidum Pyramide. . . . .	204
5.1.2.2	Knickpyramide . . . . .	210
5.1.2.3	Rote Pyramide. . . . .	218
5.1.3	Stufenpyramiden . . . . .	222
5.1.3.1	Cheops Pyramide . . . . .	222
5.1.3.2	Djedefre Pyramide . . . . .	249
5.1.3.3	Chephren Pyramide . . . . .	252
5.1.3.4	Bicheris Pyramide . . . . .	260
5.1.3.5	Mykerinos Pyramide. . . . .	262
5.1.3.6	Mastaba el-Faraun . . . . .	270
5.1.3.7	Userkaf Pyramide . . . . .	272
5.1.3.8	Sahure Pyramide . . . . .	274
5.1.3.9	Neferirkare Pyramide . . . . .	276
5.1.3.10	Neferefre (Raneferef) – unvollendete Pyramide . . . . .	278
5.1.3.11	Schepseskare – unvollendete Pyramide . . . . .	279
5.1.3.12	Niuserre Pyramide . . . . .	280
5.1.3.13	Menkauhor Pyramide . . . . .	281
5.1.3.14	Djedkare Asosi Pyramide . . . . .	282

5.1.3.15	Unas Pyramide. . . . .	283
5.1.3.16	Pyramiden der 6. Dynastie. . . . .	284
5.1.4	Pyramiden Erste Zwischenzeit . . . . .	286
5.1.4.1	Ibi Pyramide . . . . .	286
5.1.4.2	Pyramide des Chui. . . . .	287
5.1.5	Pyramiden des Mittleres Reiches . . . . .	288
5.1.5.1	Amenemhet I. Pyramide . . . . .	288
5.1.5.2	Sesostris I. Pyramide . . . . .	290
5.1.5.3	Amenemhet II. Pyramide . . . . .	292
5.1.5.4	Sesostris II. Pyramide . . . . .	293
5.1.5.5	Sesostris III. Pyramide . . . . .	294
5.1.5.6	Amenemhet III. Pyramiden . . . . .	296
5.1.5.6.1	Amenemhet III. Pyramide in Dahschur . . . . .	296
5.1.5.6.2	Amenemhet III. Pyramide in Hawara . . . . .	298
5.1.5.7	Amenemhet IV. Pyramide in Masghuna . . . . .	300
5.1.5.8	Nefrusobek Pyramide . . . . .	300
5.1.6	Pyramiden 13. Dynastie. . . . .	301
5.1.6.1	Ameni Qemau Pyramide. . . . .	301
5.1.6.2	Chendjer Pyramide . . . . .	302
5.1.6.3	Unbekannte Pyramide in Saqqara Süd . . . . .	305
5.2	Entwicklung Pyramidenbau . . . . .	307
5.2.1	Bauverfahren . . . . .	307
5.2.1.1	Schichtbauweise . . . . .	307
5.2.1.2	Waagerecht verlegte Schichten . . . . .	312
5.2.1.3	Kernstufenbauweise . . . . .	312
5.2.1.4	Bauweise mit Lehmziegeln im Mittleren Reich. . . . .	316
6.	Vorschläge für die Berechnung der Bauzeiten der Pyramiden und der dafür benötigten Personalkapazität . . . . .	319
6.1	Vorbemerkungen. . . . .	319
6.2	Vorschläge zur Berechnung der Bauzeit von Pyramiden . . . . .	321
6.3	Abschätzung des Personalbedarfs für den Pyramidenbau. . . . .	325
6.3.1	Überlegungen verschiedener Ägyptologen und Ingenieure. . . . .	326
6.3.2	Personalbedarf nach Müller-Römer . . . . .	327
6.3.2.1	Steinbrüche der Cheops Pyramide . . . . .	327
6.3.2.2	Steintransport zwischen Steinbrüchen und Cheops Pyramide . . . .	327
6.3.2.3	Bau des Kernstufenmauerwerks der Cheops Pyramide . . . . .	329
6.3.2.4	Gesamter Personalbedarf für den Bau der Cheops Pyramide . . . .	329
6.3.3	Berechnung des Personalbedarfs für den Bau der Cheops Pyramide nach Zier . . . . .	330

6.3.4	Berechnung des Personalbedarfs für den Bau der Cheops Pyramide nach de Haan . . . . .	332
7.	Analyse und Bewertung bisher bekannt gewordener Bauhypothesen . . . . .	335
7.1	Historische Beschreibungen des Pyramidenbaus . . . . .	335
7.1.1	Herodot . . . . .	335
7.1.2	Diodor . . . . .	337
7.1.3	Plinius. . . . .	338
7.2	Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau . . . . .	339
7.3	Bauhypothesen, denen senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampen zugrunde liegen . . . . .	340
7.3.1	Vorschlag Arnold, D. für ein Rampensystem . . . . .	340
7.3.2	Vorschlag Stadelmann für ein Rampensystem . . . . .	341
7.3.3	Vorschlag Lauer für eine Rampenkonstruktion . . . . .	344
7.3.4	Vorschlag Borchardt für eine Rampenkonstruktion . . . . .	345
7.3.5	Vorschlag Lattermann für eine Rampenkonstruktion . . . . .	346
7.3.6	Vorschlag Hoehn für Rampen verschiedener Anordnung . . . . .	348
7.4	Bauhypothesen mit entlang der Pyramidenseiten angelegter Rampen . . . . .	349
7.4.1	Vorschlag Goyon, G. für eine umlaufende Ziegelrampe . . . . .	349
7.4.2	Vorschlag Lehner für ein umlaufendes Rampensystem . . . . .	352
7.4.3	Vorschlag Klemm und Klemm für eine umlaufende Integralrampe . . . . .	355
7.4.4	Vorschlag Graefe und Ternes . . . . .	358
7.4.5	Vorschlag Brichieri-Colombi . . . . .	364
7.4.6	Vorschlag Hölscher für den Einsatz von Tangentialrampen . . . . .	366
7.4.7	Vorschlag Petrie für die Kombination einer senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampe und von Tangentialrampen . . . . .	367
7.4.8	Vorschlag Houdin für eine Kombination einer senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampe und einer Integralrampe (Innenrampe) . . . .	368
7.4.9	Vorschlag Sass für eine spiralförmig auf einer kegelförmigen Sandschüttung angeordneten Rampe . . . . .	373
7.4.10	Vorschlag Maneglia für den Einsatz parallel zu den Seiten der Pyramide verlaufender Rampen . . . . .	373
7.4.11	Vorschlag Willburger für parallel zu den Pyramidenseiten angeordnete Rampen . . . . .	378
7.4.12	Vorschlag Volz für den Bau der Cheops Pyramide mittels Multispiralrampen . . . . .	379
7.5.	Bauhypothesen für den Einsatz von Hebeegeräten bzw. Zugeinrichtungen . . . . .	382
7.5.1	Vorschlag Isler für den Bau der Pyramiden mittels Treppen und Hochhebeln der Steine . . . . .	382
7.5.2	Vorschlag Croon für den Einsatz verschiedener Rampensysteme und einer Hebeeinrichtung . . . . .	386

7.5.3 Vorschlag Löhner für den Bau der Pyramiden mit Seilrollenböcken . . . . . 388

7.5.4 Vorschlag Dos Santos für den Einsatz eines Spills . . . . . 390

7.5.5 Vorschlag Riedl für den Einsatz einer Hebebühne mit Seilwinde  
und Holmen. . . . . 392

7.5.6 Vorschlag Kerres für den Bau der Cheops Pyramide mittels eines  
Zentralaufzugs . . . . . 393

7.5.7 Vorschlag Munt für einen Hebezug-Paternoster . . . . . 397

7.5.8 Vorschlag Dorka für einen Schrägaufzug . . . . . 400

7.5.9 Vorschlag Pitlik für eine Förderrampe mit Spill . . . . . 402

7.5.10 Vorschlag Borrmann für eine Hebeanlage. . . . . 403

7.5.11 Vorschlag Parry für einen rollenden Steintransport . . . . . 407

7.5.12 Vorschlag Keyssner für Umbauung und Zugeinrichtung . . . . . 410

7.5.13 Vorschlag Winkler für den Einsatz von Hebeleitern . . . . . 413

7.5.14 Vorschlag Unterberger für den Materialtransport über die Außenverkleidung . . 415

7.5.15 Vorschlag de Haan für ein kombiniertes Rampen- und Hubmodell . . . . . 418

7.5.16 Vorschlag Hodges für Hochhebeln der Steine . . . . . 420

7.6 Zusammenfassende Bewertung der Hypothesen zum Pyramidenbau . . . . . 424

8. Eine neue Theorie zum Pyramidenbau im Alten Reich am Beispiel der  
Mykerinos Pyramide . . . . . 427

8.1 Baudaten der Mykerinos Pyramide. . . . . 431

8.2 Die einzelnen Bauabschnitte der Mykerinos Pyramide. . . . . 433

8.2.1 Bau der Stufen des Kernstufenmauerwerks . . . . . 433

8.2.2 Anbringen des Verkleidungsmauerwerks, der Arbeitsplattformen  
und der Äußeren Rampen. . . . . 440

8.2.3 Aufsetzen des Pyramidions . . . . . 444

8.2.4 Vermessungsarbeiten beim Anbringen der Außenverkleidung . . . . . 444

8.2.5 Rückbau der Arbeitsplattformen und Glätten der Außenfläche . . . . . 445

8.2.6 Berechnung der Transportleistungen und der Bauzeit der Pyramide. . . . . 447

8.2.6.1 Berechnung der Bauzeit für das Kernmauerwerk. . . . . 449

8.2.6.2 Berechnung der Bauzeit für das Verkleidungsmauerwerk  
sowie für die Außenverkleidung und die Arbeitsplattformen . . . . . 451

8.2.6.3 Berechnung des Zeitaufwandes für die Glättung der  
Außenverkleidung . . . . . 452

8.2.6.4 Bauzeit der Mykerinos Pyramide. . . . . 454

8.3 Vergleichende Betrachtung mit den Bauzeiten der Roten Pyramide  
und der Cheops Pyramide . . . . . 455

8.3.1 Berechnung der Bauzeit der Roten Pyramide . . . . . 455

8.3.2 Berechnung der Bauzeit der Cheops Pyramide . . . . . 461

8.4 Ausblick auf weitere Pyramiden des Alten Reiches . . . . . 468

9. Zusammenfassung der neuen Theorie für den Bau der Stufenpyramiden im Alten Reich . . 469

10. Verzeichnis der Abkürzungen, Quellenverzeichnis Text, Literaturverzeichnis,  
Quellenverzeichnis Abbildungen, Verzeichnis Fernsehsendungen und Register . . . . . 473

10.1 Verzeichnis der Abkürzungen . . . . . 473

10.2 Quellenverzeichnis Text . . . . . 475

10.3 Literaturverzeichnis . . . . . 492

10.4 Quellenverzeichnis Abbildungen . . . . . 494

10.5 Verzeichnis Fernsehsendungen . . . . . 502

10.6 Register . . . . . 503