

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

INHALTSVERZEICHNIS

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	Cephren 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	Neferefref (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

INHALTSVERZEICHNIS

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 Hebegeräten 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

INHALTSVERZEICHNIS

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-Patenten	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 Außenrampen.	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

INHALTSVERZEICHNIS

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