

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1. Einleitung	15
2. Definitionen und Festlegungen	25
2.1 Definition Baustrukturen	25
2.2 Definition Mauerwerk	30
2.3 Längenbezeichnungen	33
2.4 Festlegungen	33
3. Zeitliche Entwicklung des Pyramidenbaus im Alten und Mittleren Reich	35
4. Bautechnik im Alten Reich	39
4.1 Baumaterial	42
4.1.1 Steingewinnung und Steinbearbeitung	42
4.1.2 Steinverarbeitung an der Baustelle	48
4.1.3 Ungebrannte Ziegel	50
4.2 Hebeeinrichtungen	52
4.2.1 Balken, Stangen	52
4.2.2 Anheben und Absenken schwerer Lasten	54
4.2.2.1 Seilumlenkung	54
4.2.2.2 Seile	59
4.2.2.3 Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer des Königs in der Cheopspyramide	61
4.2.2.4 Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer der Pyramide des Mykerinos	67
4.2.2.5 Aufrichten von Pfeilern sowie Statuen und Heben von Steinblöcken	70
4.2.2.6 Zusammenfassung: Hebeeinrichtungen und Seilumlenkung	76
4.3 Transporteinrichtungen	78
4.3.1 Schiefe Ebene	78
4.3.1.1 Zugkräfte (Gleitreibung)	78

4.3.1.2	Zugkräfte (Rollreibung)	85
4.3.1.3	Über eine Walze abwärtsgerichtete Zugkraft	87
4.3.1.4	Zugleistung von Arbeitern	88
4.3.1.4.1	Aufwärtsgerichtete Zugleistungen von Arbeitern	88
4.3.1.4.2	Aufwärtsgerichtete Zugleistung von Rindern	89
4.3.1.4.3	Abwärtsgerichtete Zugleistungen von Arbeitern	89
4.3.2	Rampen	90
4.3.2.1	Die Pyramide des Sechemchet	90
4.3.2.2	Die kleinen Schichtpyramiden des Alten Reiches	91
4.3.2.3	Die Pyramide des Snofru in Meidum	93
4.3.2.4	Die Rote Pyramide in Dahschur	95
4.3.2.5	Cheopspyramide	96
4.3.2.6	Das Sonnenheiligtum des Niuserre	99
4.3.2.7	Die Pyramiden des Mittleren Reiches	100
4.3.2.8	Zusammenfassung: Verwendung von Rampen beim Pyramidenbau	101
4.3.3	Steintransport auf der geraden und schrägen Ebene	103
4.3.4	Transport von Leitern mittels Scheibenrädern	112
4.4	Vermessungstechnik	112
4.4.1	Während der Bauarbeiten durchzuführende Vermessungsarbeiten	114
4.4.2	Maßeinheiten	116
4.4.3	Streckenmessung	117
4.4.4	Messverfahren zur waagerechten Nivellierung	119
4.4.5	Winkelmessung	125
4.4.6	Ausrichtung der Pyramiden nach den Himmelsrichtungen	127
4.4.7	Einhalten der festgelegten Neigung der Seitenflächen der Pyramide	132
4.4.8	Vermessen der Grabkammerkorridore	135
4.4.9	Kontrollmessungen ebener Flächen	136
4.4.10	Zusammenfassung Vermessungstechnik	138
4.5	Mathematische Kenntnisse	139
5.	Archäologische Befunde an Pyramiden	143

5.1	Die Entwicklung der Bauweise von Pyramiden	143
5.1.1	Schichtpyramiden	143
5.1.1.1	Die Pyramide des Djoser	143
5.1.1.2	Die Pyramide des Sechemchet	148
5.1.1.3	Die Pyramide des Chaba	149
5.1.1.4	Die kleinen Schichtpyramiden des Alten Reiches	150
5.1.1.5	Die Pyramiden des Snofru	151
5.1.1.5.1	Meidum	152
5.1.1.5.2	Knickpyramide	157
5.1.2	Stufenpyramiden	164
5.1.2.1	Die Rote Pyramide	164
5.1.2.2	Die Cheopspyramide	168
5.1.2.3	Die Pyramide des Djedefre	181
5.1.2.4	Die Pyramide des Chephren	183
5.1.2.5.	Die Pyramide des Bicheris (Nebka)	187
5.1.2.6	Die Pyramide des Mykerinos (Menkaure)	188
5.1.2.7	Die Mastaba el-Faraun des Schepseskaf	196
5.1.2.8	Die Pyramide des Userkaf	196
5.1.2.9	Die Pyramide des Sahure	198
5.1.2.10	Die Pyramide des Neferirkare	200
5.1.2.11	Die unvollendete Pyramide des Schepseskare	203
5.1.2.12	Die unvollendete Pyramide des Neferefre (Raneferef)	203
5.1.2.13	Die Pyramide des Niuserre	205
5.1.2.14	Die Pyramide des Menkauhor	206
5.1.2.15	Die Pyramide des Djedkare Asosi	207
5.1.2.16	Die Pyramide des Unas	208
5.1.2.17	Die Pyramide Lepsius XXIV	209
5.1.2.18	Die Pyramiden der 6. Dynastie	210
5.1.3	Die Pyramiden der Ersten Zwischenzeit und des Mittleren Reiches	211
5.1.3.1	Die Pyramide des Ibi	212
5.1.3.2	Die Pyramide des Chui	212
5.1.3.3	Wiederentdeckung der Pyramidenform im Mittleren Reich	213
5.1.3.4	Die Pyramide Amenemhet's I.	214
5.1.3.5	Die Pyramide Sesostris' I.	215

5.1.3.6	Die Pyramide Amenemhet's II.	215
5.1.3.7	Die Pyramide Sesostris' II.	216
5.1.3.8	Die Pyramide Sesostris' III.	216
5.1.3.9	Die Pyramiden Amenemhet's III.	217
5.1.3.9.1	Die Pyramide Amenemhet's III. in Dahschur	217
5.1.3.9.2	Die Pyramide Amenemhet's III. in Hawara	218
5.1.3.10	Pyramiden der 13. Dynastie	218
5.2	Zusammenfassung: Archäologische Befunde und Entwicklung der Bautechniken im Alten Reich	219
5.3	Der Wechsel von der Schicht- zur Stufenbauweise der Pyramiden im Alten Reich	225
5.4	Die Weiterentwicklung der Pyramidenbauweise im Mittleren Reich	234
6.	Bauzeiten der Pyramiden und Personalbedarf	237
6.1	Berechnung der Bauzeiten	237
6.2	Abschätzung des Personalbedarfs für den Pyramidenbau	245
6.2.1	Personalbedarf im Steinbruch des Cheops	247
6.2.2	Personalbedarf für den Steintransport zwischen Steinbruch und Cheopspyramide	248
6.2.3	Personalbedarf für den Bau des Kernmauerwerks der Cheopspyramide	250
6.2.4	Gesamtpersonalbedarf für die Errichtung der Cheopspyramide	251
6.2.5	Berechnung des Personalbedarfs für den Bau der Cheopspyramide nach Zier	252
7.	Analyse und Bewertung der bisher bekannt gewordenen Bauhypthesen	255
7.1	Historische Beschreibungen des Pyramidenbaus	255
7.1.1	Herodot	256
7.1.2	Diodor	258
7.1.3	Plinius	259
7.2	Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau	259

7.3	Bauhypotesen, denen senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampen zugrunde liegen	261
7.3.1	Überlegungen zum Problem des Pyramidenbaus nach Arnold	261
7.3.2	Vorschlag von Stadelmann für ein Rampensystem	263
7.3.3	Vorschlag von Lauer für eine Rampenkonstruktion	266
7.3.4	Vorschlag von Borchardt für eine Rampenkonstruktion	268
7.3.5	Vorschlag von Lattermann für eine Rampe	269
7.3.6	Vorschlag von Höhn für Rampen verschiedener Anordnung	271
7.4	Bauhypotesen, denen entlang der Pyramidenseiten geführte Rampen zugrunde gelegt werden	273
7.4.1	Umlaufende Ziegelrampe nach Goyon, G.	273
7.4.2	Rampensystem nach Lehner	276
7.4.3	Integralrampe nach Klemm und Klemm	280
7.4.4	Vorschlag von Graefe für die Verwendung von Tangentialrampen	284
7.4.5	Umlaufende Rampe nach Hampikian	290
7.4.6	Vorschlag von Hölscher für Tangentialrampen	292
7.4.7	Kombination einer senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampe und einer Tangentialrampe nach Petrie	293
7.4.8	Kombination einer senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampe und einer Integralrampe (Innenrampe) nach Houdin	294
7.4.9	Vorschlag von Willburger für parallel zu den Pyramidenseiten angeordneten Rampen	300
7.5	Hypothesen für den Einsatz von Hebegeräten bzw. Zugeinrichtungen	302
7.5.1	Vorschlag von Isler zum Pyramidenbau mittels Hebeln	302
7.5.2	Vorschlag für eine Hebeeinrichtung nach Croon	304
7.5.3	Vorschlag von Löhner für den Bau der Pyramide mit Seilrollenböcken	308
7.5.4	Vorschlag von dos Santos für den Einsatz eines Spill	310
7.5.5	Vorschlag von Riedl für eine Hebebühne mit Seilwinde und Holmen	312
7.5.6	Der Schrägaufzug nach Abitz	314

7.5.7	Hebezeug-Paternoster nach Munt	318
7.5.8	Schrägaufzug nach Dorka	320
7.5.9	Vorschlag von Pitlik für eine Förderrampe	322
7.5.10	Hebeanlage nach Bormann	324
7.5.11	Vorschlag eines rollenden Steintransports nach Parry	328
7.5.12	Vorschlag von Keyssner mittels Umbauung (Montagemantel) und Zugeinrichtung	333
7.5.13	Vorschlag von Winkler (Hebeleiter)	337
7.5.14	Methode des Flankentransports nach Unterberger	340
7.5.15	Kombiniertes Rampen- und Hubmodell nach de Haan	343
7.5.16	Bauvorschlag von Hodges (Hochhebeln der Steine)	346
7.6	Zusammenfassende Bewertung der Bauvorschläge für Pyramiden entsprechend der Kapitel 7.3 bis 7.5	349
8.	Eine neue Hypothese zum Pyramidenbau im Alten Reich	355
8.1	Baudaten der Pyramide des Mykerinos	359
8.2	Die einzelnen Bauabschnitte	362
8.2.1	Bau des Kernmauerwerks	362
8.2.2	Anbringen des Verkleidungsmauerwerks, der Arbeitsplattformen und der Äußeren Rampen	372
8.2.3	Aufsetzen des Pyramidion	377
8.2.4	Vermessungsarbeiten beim Anbringen der Außenverkleidung	377
8.2.5	Rückbau der Arbeitsplattformen und Glätten der Außenfläche	379
8.2.6	Berechnung der Transportleistungen und der Bauzeit der Pyramide	380
8.2.6.1	Berechnung der Bauzeit für das Kernmauerwerk	383
8.2.6.2	Berechnung der Bauzeit für das Verkleidungsmauerwerk sowie für die Außenverkleidung und die Arbeitsplattformen	385
8.2.6.3	Berechnung des Zeitaufwandes für die Glättung der Außenverkleidung	387
8.2.6.4	Bauzeit für die Pyramide des Mykerinos	389
8.3	Vergleichende Betrachtung mit den Bauzeiten der Roten Pyramide und der Cheopspyramide	389
8.3.1	Berechnung der Bauzeit der Roten Pyramide	390

8.3.2	Berechnung der Bauzeit der Cheopspyramide	397
8.4	Anmerkungen zum Bau der Cheopspyramide	406
8.5	Ausblick auf weitere Pyramiden des Alten Reiches	412
9.	Zusammenfassung der neuen Hypothese für den Bau der Stufenpyramiden im Alten Reich	413
10.	Quellenverzeichnis und Abkürzungen	417
10.1	Quellenverzeichnis Text	417
10.2	Quellenverzeichnis Abbildungen	432
10.3	Verzeichnis der Abkürzungen	436
	Register	439