

# 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 (Raneferf) . . . . .	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 Sesostri's 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 Bauhypothesen . . . . .	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	Bauhypothesen, 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	Bauhypothesen, 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. Zugrichtungen . . . . .	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 Äußerer 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