

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der
Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt
(<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the
main library of the Vienna University of Technology
(<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>)

Diplomarbeit

PALMA CITY

klimagerechtes wohnen in kairo

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin
unter der Leitung von

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Karin Stieldorf

am Institut für Architektur und Entwerfen E253/4
Arbeitsgruppe für Nachhaltiges Bauen

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Habib Dua
0425081
Leystasse 104/4/5
1200 Wien

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

01.1 Zur Geschichte des Lehmbaus.....	6
01.2 Der Werkstoff Lehm.....	7
01.3 Bezeichnung der Lehme nach ihrer Bindigkeit.....	9
01.4 Die Eigenschaften von Lehm.....	10

2. Analyse

02.1 Ägypten im Überblick.....	15
02.2 Das Klima Ägyptens.....	16
02.3 Klima und Architektur.....	18
02.4 Ausrichtung der Bauten.....	20
02.5 Nord-, Süd-, Ost-, Westfassade.....	22
02.6 Luftbewegungen im Haus.....	23
02.7 Windauslass.....	24
02.8 Malqaf-Windfänger.....	25
02.9 Räumliche Struktur.....	28
02.10 Badgir.....	30
02.11 Brunnen.....	31
02.12 Salsabil.....	32
02.13 Das traditionelle ägyptische Haus.....	33
02.14 Innenhofhaus Sahn.....	34
02.15 Mashrabiya - Gitterfenster aus Holz.....	36
02.16 Clastrum.....	38
02.17 Wandsysteme.....	39
02.18 Wände aus Lehmsteine.....	42
02.19 CompressedEarth Blocks (CEB)	44
02.20 Wände aus Stampflehm.....	46
02.21 Wellerbau.....	49
02.22 Die Technik der freien Wölbung.....	50
02.23 zur Geometrie, Statik von Gewölben.....	51
02.24 Nubisches Gewölbe.....	55
02.25 Nubische Tonnenbauweise.....	56
02.26 Nubische Kuppelbauweise.....	60
02.27 Der Architekt Hassan Fathy.....	62
02.28 Werke von Hassan Fathy – Haus Hamid Said.....	63
02.29 Haus Hamdi Seif Al-Nasr.....	64
02.30 Landhaus bei Sidi Krier.....	65
02.31 Haus Samy.....	66
02.32 Adel Fahmy.....	67
02.33 Vegetation und Flora in Ägypten.....	68
02.34 Gartenkunst im Alten Ägypten.....	70
02.35 Dattelpalme.....	72
02.36 Die Akazie.....	73
02.37 Johannisbrotbaum.....	74

3. Projekt

03.1 Der Bauplatz.....	80
03.2 Interviews.....	85
03.3 Verschiedene Entwürfe.....	98
03.4 Das Projekt.....	99

4. Simulation

04.1 Bauweise.....	157
04.2 Schematische Darstellung des Wärmegewinns- bzw. verlust in einem Gebäude.....	158
04.3 Raumangaben.....	159
04.4 Wand-, Decken- und Fußbodenaufbau.....	160
04.5 Simulation.....	161

1_einleitung

klimagerechtes wohnen in kairo

PALMA CITY

01.1 Zur Geschichte des Lehmbaus

Der römische Architekturtheoretiker Vitruv schrieb in seinem zweiten von zehn Bänden der „De architectura“: „der überaus mächtige König Maussollus in Halikarnaß (heute Bodrum in Anatolien) ließ die Wände seines Palastes aus Lehmsteinen bauen, nicht weil sie billiger waren als Marmor, sondern weil sie dauerhaft standfest waren...“.¹



Abb.1: Basar, Sedjan, Iran



Abb.2: Vorratsräume des Totentempels Ramses II, Gurna, Ägypten, ca. 3200 Jahre alt

Lehm kommt in allen Teilen der Erde vor und ist eines der weitverbreiteten und meistgenutzten Baumaterialien. Fast jedes Land der Erde hat eine Lehmbaugeschichte. Die Lehmbautechniken sind seit mehr als 9000 Jahren bekannt. Durch die verschiedenen klimatischen Bedingungen und sozial-kulturellen Entwicklungen haben sich unterschiedliche Verarbeitungstechniken fast zeitgleich entwickelt. Seitdem die Menschen vor ungefähr 10.000 Jahren gelernt haben Häuser und Städte zu bauen, wird Lehm in Form von Ziegel benutzt. Der Baustoff wurde in allen alten Kulturen für Wohnbauten, Befestigungsanlagen sowie Kultbauten verwendet. Rechteckige Lehmsteinhäuser aus der Periode von 8000-6000 v. Chr. wurden im russischen Turkestan entdeckt. Die Chinesische Mauer, die vor ca. 4000 Jahren errichtet wurde, war aus Stampflehm gebaut. Beeindruckend ist die Vielfalt der afrikanischen und arabischen Lehmarchitektur. Der arabische und afrikanische Raum war auch die Geburtsstätte der Bögen, Gewölbe und Kuppeln. Denn im Laufe von Jahrhunderten entstanden in den trockenen Klimazonen, in denen Holz als Baumaterial fehlt, Mauertechniken für Gewölbekonstruktionen. Mittels dieser Techniken war es möglich aus ungebrannten Lehmsteinen Gebäude zu überdecken ohne Holzbalken zu verwenden. Mit der Mehrzahl dieser Techniken wurde Gewölbe ohne Schalung erstellt. So wurde zum Beispiel der Basar in Sedjan im Iran mit dieser Technik errichtet (Abb.1). Die ältesten nubischen Gewölbe in Ägypten sind aus der Zeit von ca. 3000 v. Chr. (Abb.2).²

¹ http://www.bauingenieur24.de/sharedpics/pdf_diploma/1040_1.pdf

² Minke, Gernot: Lehm-Bau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995, S.13

01.2 Der Werkstoff Lehm

Der Lehmbau ist einer der häufigsten Bautechniken, der in warmen sowie auch in kalten Regionen verwendet wird. Besonders in Mittel- und Nordeuropa wurden die Lehmbautechniken weiterentwickelt. Erst im 20. Jahrhundert sind aufgrund der Industrialisierung die handwerklichen Fähigkeiten der Lehmverarbeitung verlorengegangen. Lehm gibt es fast überall und fällt bei Erdarbeiten für Hausbau oder ähnlichem oft als Abfallprodukt an. Er entsteht als Verwitterungsprodukt aus Quarz, Feldspat oder Glimmer und wird durch Wind und Wasser fortgetragen.³

„Lehm ist ein Verwitterungsprodukt aus der Gesteinsschicht unserer Erde. Die Verwitterung erfolgte überwiegend durch die mechanische Zerstörung des Gesteins, durch Bewegung von Gletschern, Wasserläufen und Wind, durch Ausdehnen und Zusammenziehen des Materials infolge von Temperaturdifferenzen oder durch die sprengende Wirkung gefrierenden Wassers.“⁴



Abb.3: Baustoff Lehm

Die Besonderheit des Lehms (Abb.3) ist es, dass er in verschiedenen Arten und Zusammensetzungen vorkommt. Es ist eine Mischung aus Ton (Korngröße $< 2 \mu\text{m}$), Schluff (Korngröße $> 2 \mu\text{m}$) und Sand (Korngröße $> 63 \mu\text{m}$), welche auch größere Bestandteile wie Kies, Schotter oder Steine enthalten kann (Abb.4-6). Je nach Fundort weist das Material unterschiedliche Eigenschaften auf und wird deshalb je nach Verarbeitungstechnik unterschiedlich zusammengesetzt. Lehm ist ein Naturmörtel. In ihm wirkt der Ton als Bindemittel, welches die übrigen größeren Partikeln miteinander verbindet. Somit sind Sand, Schluff und Kies nur Füllstoffe. Man spricht von einem tonigen, schluffigen oder sandigen Lehm, je nachdem welcher der drei Hauptbestandteile im Lehm überwiegt. Es gibt ungefähr 1.600 verschiedene Tonsorten mit unterschiedlichen Farben und Eigenschaften.



Abb.4: Schluff



Abb.5: Sand



Abb.6: Ton

³Schneider/Schwimann/Bruckner: Lehmbau für Architekten und Ingenieure, Düsseldorf/Werner 1996, S 1.

⁴Minke, Gernot: Lehm-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S27.

Das Zusammenwirken der tonigen Anteile (abhängig von Menge und Art) mit den mineralischen Füllstoffen (in Abhängigkeit ihrer Kornverteilung) ist für die Baustoffeigenschaft ausschlaggebend. In der Natur kommen tonarme, die auch als „mager“ oder „sandig“ bezeichnet werden, und auch tonreiche Lehme, auch „fett“ oder „bindig“ genannt, vor. Ab einem Tongehalt von ungefähr 5-6% werden Sand-Ton-Mischungen als Lehm bezeichnet. Hier liegt die Grenze der Verwendbarkeit für Bauzwecke. Bis zu etwa 15% Tongehalt verwendet man die Bezeichnung „Magerlehm“. Bei 15-22% Tongehalt wird die Klasse als „mittlere Lehme“ bezeichnet. Die Klasse der „fetten Lehme“ enthalten 20-30% Ton, wobei sie bei ungefähr 25% für die Ziegelherstellung verwendet werden. Sie werden als Ziegellemm genannt, sofern keine größeren mineralischen Bestandteile enthalten sind. Als „sehr fetter Lehm“ werden sie dann bezeichnet, wenn eine Erde 30-40% Tonmineralien und fühlbaren Sandanteil enthält. Falls sie sehr feine Bestandteile enthalten, werden sie auch als „Tone“ bezeichnet. Bei groben mineralischen Bestandteilen nennt man sie „steinige Lehme“ oder „Schwerlehme“. Im allgemeinen Sprachgebrauch als „Ton“ bezeichnete Erden, besitzen 50% reines Tonmineral, Mehlsand und Feinstsand.⁵

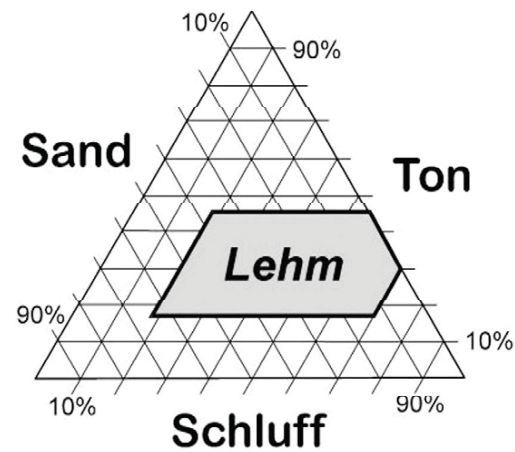


Abb.7: graphische Darstellung der Prozentanteile

⁵Schneider/Schwimann/Bruckner: Lehmabau für Architekten und Ingenieure, Düsseldorf:Werner 1996, S 52.

01.3 Bezeichnung der Lehme nach ihrer Bindigkeit

„R. Niemeyer hat Bezeichnungen für die Lehme eingeführt, die sich nach ihrer Zugfestigkeit in erdfeuchtem Zustand („Bindigkeit“) richten. Die Klassifikation sowie Bezeichnung werden in europäischer Literatur und Bauvorschriften häufig verwendet. Die Bindigkeit korreliert jedoch nicht eindeutig mit dem Tongehalt.“⁶

Lehm ist in der Lage, innerhalb kurzer Zeit etwa dreißig Mal soviel Feuchtigkeit aus der Raumluft zu speichern als gebrannte Ziegel, wenn die relative Feuchte der Raumluft von 50% auf 80% steigt.⁷



Klasse	Bezeichnung	Bindekraft N/mm ²
Sande	Sand	unter 0,003
	lehmiger Sand	0,003-0,005
Magerlehme	sehr magerer Lehm	0,005-0,008
	magerer Lehm	0,008-0,011
mittlere Lehme	fast magerer Lehm	0,011-0,015
	fast fetter Lehm	0,015-0,020
fette Lehme	fetter Lehm	0,020-0,027
	sehr fetter Lehm	0,027-0,036
Tone	magerer Ton	0,036-0,048
	fetter Ton	0,048-0,066
	sehr fetter Ton	0,066-0,090

⁶Schneider/Schwimmann/Bruckner: Lehmhaus für Architekten und Ingenieure, Düsseldorf: Werner 1996, S 51.

⁷Minke, Gernot: Lehmhaus-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S19

01.4 Die Eigenschaften von Lehm

Der Lehm gibt den Bewohnern von Lehmhäusern mit seinen vielen positiven Eigenschaften ein hohes Maß an Wohlbefinden. Eine besondere Eigenschaft des Baustoffes ist, dass er die Luftfeuchtigkeit reguliert. Lehm, als ein poröser Baustoff, kann die Luftfeuchtigkeit relativ schnell aufnehmen und diese bei Bedarf wieder abgeben. Somit trägt er zu einem gesunden Raumklima bei. Als „Gleichgewichtsfeuchte“ bezeichnet man die maximale Feuchte, die ein Baustoff aus der Luft aufnehmen kann. Diese hängt von der relativen Feuchte und der Temperatur der Umgebungsluft ab. Die feuchteregulierende Wirkung des Baustoffes, die für das Wohnklima wichtig ist, ist nicht nur von der maximalen Feuchte abhängig, sondern vor allem auch von der Geschwindigkeit, in welcher der Baustoff die Feuchtigkeit aufnehmen bzw. abgeben kann (Abb.8).⁸

Durch seine Fähigkeit zur Wärmespeicherung trägt Lehm zur Verbesserung des Wohnklimas bei. Dabei wird Sonnenenergie aufgenommen und wieder in den Wohnraum abgegeben.

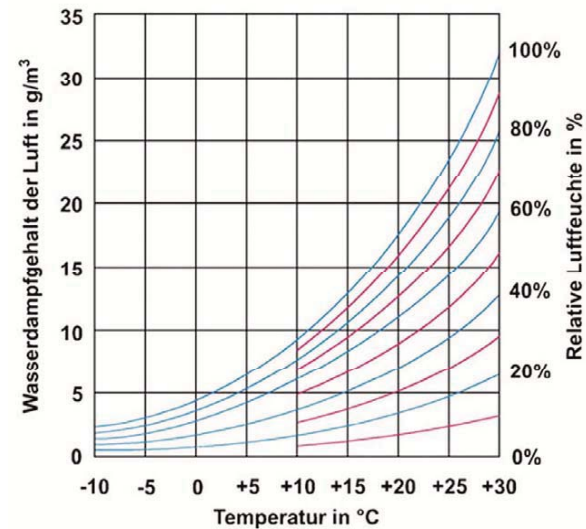


Abb.8: Wasserdampfgehalt der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur (Carrier-Diagramm)

⁸ Minke, Gernot: Lehm-Bau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S.22.

Weiteres kann er eine Reihe von Innenraumschadstoffen aus der Luft absorbieren und den Staubgehalt in der Luft vermindern. Lehm hat holzkonservierende Eigenschaften, die auf seiner Gleichgewichtsfeuchte von 4,5% - 6%, je nach Tongehalt und Feuchtegehalt der Luft, beruhen. Da pflanzliche und tierische Schädlinge einen Wassergehalt von 8 bis 16% benötigen, wird ihnen durch den Baustoff die Lebensgrundlage entzogen. Für die Herstellung der Lehmstoffe benötigt er einen geringen Energieaufwand. Etwa 1% der Energie wird benötigt, die für die Herstellung von Mauerziegeln oder Stahlbeton verwendet wird. Eine weitere wichtige Eigenschaft, vor allem für die ärmere Bevölkerungsschicht, ist, dass es sich für den Selbstbau eignet. Ein Nachteil jedoch ist, dass Lehm nicht wasserfest ist und daher im feuchten Zustand vor Regen und Frost geschützt werden muss. Mittels konstruktiven Baumaßnahmen wie Dachüberstand oder Spritzwassersockel und durch entsprechende Oberflächenbehandlungen wie Anstriche und Außenputze kann dies erreicht werden. Durch die Verdunstung des Anmachwassers, das für die Verarbeitung des Lehms hinzugegeben wird und seine Bindekraft aktiviert, reduziert sich sein Volumen. Somit entstehen Trocken- bzw. Schwindrisse. Durch die Reduzierung des Wassersowie des Tonanteils und durch Optimierung der Kornzusammensetzung kann das Schwinden wesentlich verringert werden.⁹

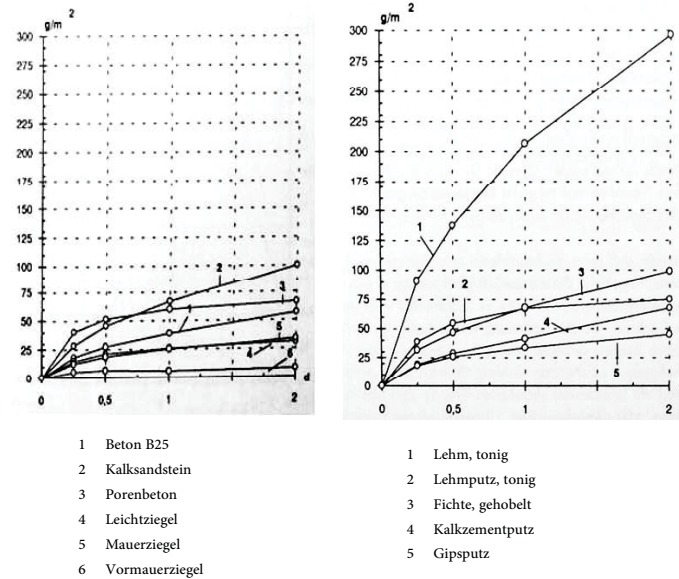


Abb.9-10: Sorptionskurven von 15 mm dicken Baustoffproben bei einer Temperatur von 21°C und einer Zunahme der Raumluftfeuchte von 50% auf 80% in Abhängigkeit von der Zeit

⁹ Minke, Gernot: Lehm-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S19

2_analyse

klimagerechtes wohnen in kairo

PALMA CITY



02.1 Ägypten im Überblick

Offiziell als „Arabische Republik Ägypten“ bezeichnet, erstreckt sich das Land 1030 km von Norden nach Süden und 960 km von Osten nach Westen mit einer Gesamtfläche von 1.001.450 km². Das Land besitzt aufgrund seiner Geschichte und geographischen Lage, bedingt durch den Suez Kanal, eine bedeutende und einflussreiche Stellung innerhalb der arabischen Ländern. Desweiteren hat Ägypten eine besondere Bedeutung im Tourismus, da es zwischen dem Mittelmeer im Norden und dem roten Meer im Osten liegt. Der Nil ist mit 6671 km der längste Fluss der Erde und somit die berühmteste Lebensader Ägyptens, welche seine Existenz ermöglicht. Etwa 4% des fruchtbaren Landes befinden sich an den Ufern des Nils. Der Fluss teilt das Land in zwei große Wüstengebiete, die Lybische Wüste im Westen und die Arabische Wüste im Osten.

Die Einwohnerzahl beträgt 80.471.869 (Stand Juli 2010), wobei ein Großteil in der Hauptstadt Kairo lebt. Die Landessprache ist Arabisch. Ägypten zählt zu den ältesten Hochkulturen der Welt. Seit der Einigung von Ober- und Unterägypten, etwa um 3200 v. Chr., erlebte das Land eine wechselvolle Geschichte, die heute durch Pyramiden, Tempeln und Grabmalereien lebendig ist. Die Geschichte der arabischen Republik Ägyptens begann 1952 mit dem Präsidenten Gamal Abd-El-Nasser, gefolgt von Anwar El-Sadat, der im Jahre 1981 einem Attentat zum Opfer wurde. Sein Vizepräsident Mohamad Hosni Mubarak übernahm bis am 11.2.2011 die Regierung.¹⁰



Abb.11: Landkarte Ägypten

¹⁰ www.wikipedia.org

02.2 Das Klima Ägyptens

Wichtige Faktoren sind während des Planens zu berücksichtigen. Eines davon ist das Klima des Ortes, welches die architektonische Form stark beeinflusst. Ägypten ist ein Land das in einer warmen Region liegt und dessen Architektur aus diesem Grund auch stark berücksichtigt werden soll. Der Architekt hat die Aufgabe für die Menschen ein Gebäude zu planen, welches sowohl Komfort als auch eine ästhetische Befriedigung erzeugt.

Ägypten liegt innerhalb des nordafrikanischen Trockengürtels mit beträchtlichen saisonalen und täglichen Temperaturschwankungen sowie wenigen Niederschlägen (Abb.12-13). Südlich von Kairo regnet es äußerst selten, jedoch der nördliche Küstenstreifen und das Nildelta sind mit Winterniederschlägen zwischen 100 und 200 mm mediterran beeinflusst. Das Land lässt sich in fünf Klimagebieten unterteilen. Die Mittelmeerküste und das Nildelta zeichnen sich durch milde Winter aus. Die Tagestemperaturen bewegen sich durchschnittlich zwischen 17 und 20°C, während sie in der Nacht auf etwa 8–11°C fallen. Im Sommer erreicht man untertags eine Temperatur von bis zu 32°C, und in der Nacht sinkt die Temperatur auf 24°C. Die Luftfeuchtigkeit ist das ganze Jahr über relativ hoch. Sie beträgt zwischen 60 und 75 %, was die Luft oft heißer empfinden lässt als sie ist.¹¹

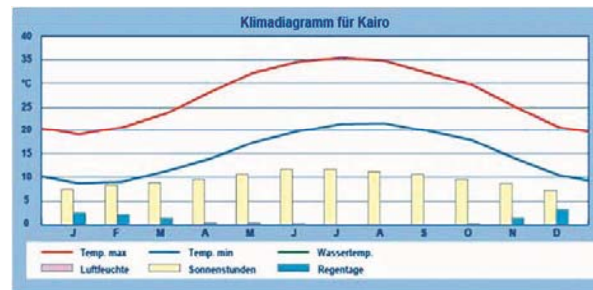
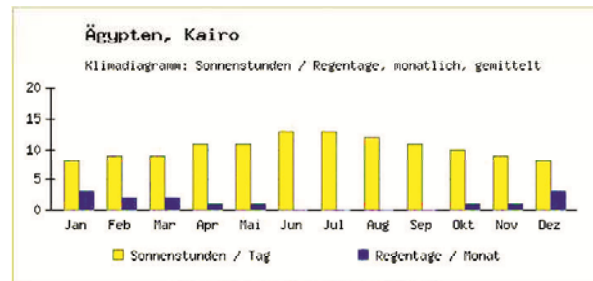


Abb.12-13: Klimadiagramm für Kairo

¹¹ <http://de.wikipedia.org/>

Das untere Niltal, welches sich von Kairo bis Asyut zieht, ist ebenfalls von milden Wintern geprägt, jedoch heißere Sommer als im Nildelta. Ganzjährig gibt es kaum Niederschläge. Die Werte im Sommer erreichen bis zu 37°C. Die Luftfeuchtigkeit ist mit 40–60% ebenfalls merklich geringer.

Das obere Niltal hat ein milderes Klima mit Temperaturen von 19 bis 22°C, wobei es in der Nacht kühler wird. Sie sinkt auf ungefähr 5–10°C. Über das ganze Jahr ist die Luftfeuchtigkeit eher gering, etwa 15–50%, begleitet von beinahe völliger Niederschlagslosigkeit. In Städten wie Assuan, Luxor oder Dakhla hat man im Jahr 0–2 Regentage.

Die Küstengebiete am Roten Meer kennen milde bis warme Winter, mit einer Temperatur von kaum unter 20°C am Tag und 10–13°C in der Nacht. Die Sommer sind sehr warm bis heiß und extrem trocken. Tagsüber sind 34–38°C zu erwarten, mit gelegentlichen Hitzeperioden von über 40°C und nachts sinken die Werte meist nicht unter 25°C. Die Luftfeuchtigkeit beträgt ganzjährig 30–55 % und Niederschlag ist kaum zu erwarten, etwa 0–3 Tage (Abb.14).¹²

Klimadaten												
	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Alexandria o Temp. °C	18	19	20	23	26	27	28	30	28	27	25	20
Regentage	5	4	3	1	0	0	0	0	1	3	4	5
Kairo o Temp. °C	19	21	24	28	32	35	35	35	33	30	26	21
Regentage	3	2	1	1	1	0	0	0	0	1	1	2
Luxor/Assuan o Temp. °C	24	27	29,5	34	40	41,5	42	41,5	39,5	35,5	31	25
Regentage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abb.14: Klimadaten Ägyptens

¹² <http://de.wikipedia.org/>

02.3 Klima und Architektur

Das Klima in Ägypten ist, wie bereits vorhin erwähnt, durch eine heiße, trockene Zone sowie hohe Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht charakterisiert. Eine der wichtigsten Aufgaben eines Gebäudes ist die Veränderung des Mikroklimas. Früher bauten die Menschen ihre Häuser selbst aus den Materialien ihrer Umgebung um Naturkräfte wie Regen, Wind, Sonne und Schnee abzuhalten. Vor der industriellen Revolution war der Mensch auf natürliche Energiequellen und örtlich verfügbare Materialien angewiesen, um seine einwandfreie Behausung zu schaffen.

Die Menschen schaffen also eine Umgebung, die sowohl für den Komfort als auch für das Überleben wichtig ist. Sie lernten überall auf das Klima ihres Ortes zu reagieren, denn dieses bestimmte ihren Lebensrhythmus, ihre Häuser und ihre Kleidung. Jeder Raum innerhalb eines Gebäudes besitzt sein eigenes Mikroklima. So ist beispielsweise das Mikroklima, welches an der Südwand herrscht sehr verschieden von dem der Nord-, der West- und der Ostwand. In den heißen Gebieten bauen die Menschen ihre Häuser mit dicken Wänden um sich vor der Hitze zu schützen und die kleinen Öffnungen dienen dazu, die heiße Luft sowie die Sonne fernzuhalten. Durch Experimenten sowie Zufällen kamen sie zu erfolgreichen Lösungen von Klimaproblemen. Jenes, welches gut funktionierte wurde fortgesetzt.¹³

Der Gedanke einen modernen Glasbau mitten in einer heißen Umgebung zu setzen ist nicht gerade der richtige. Deshalb wird das Verhältnis von Fenster- zu Wandflächen kleiner, je weiter man sich dem Äquator nähert. Mittels einer abnehmenden Größe der Fenster will man die Hitze sowie die Helligkeit der Sonne vermeiden. Tiefe Loggien, schützende Balkone und Dachüberstände sollen Schatten auf die Gebäudewand werfen. Vergleichsweise bauen die Menschen in Ost-Asien Hütten mit locker gewebten Wänden, damit die leichteste Brise durchwehen kann.

¹³ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88, Aachen 1987, S.35.

Das Material sowie die Art wie es eingesetzt wird sind sehr wichtig. Eine Veränderung bei traditionellen Bauelementen kann den gesamten Wert eines Gebäudes als befriedigende Lösung klimatischer Probleme zerstören. Beispielsweise ist es nicht empfehlenswert Mattenwand durch Wellblech oder ein massives Wandmaterial zu ersetzen, da es sonst im Inneren sehr stickig und heiß wird.¹⁴

Deshalb wird in den wärmeren Gebieten das Bauen mit Lehm, aufgrund seiner Eigenschaften, bevorzugt.

Die Abbildung fünfzehn zeigt den Vergleich zwischen der Lufttemperatur im Äußeren und im Inneren eines Gebäudes in Kairo, welches aus Lehm gebaut ist. Das Diagramm verdeutlicht, dass sich die Temperatur über den ganzen Tag zwischen 20°C und 25°C standhält.

Im Vergleich dazu sieht man in der Abbildung sechzehn das Diagramm der Lufttemperatur eines Gebäudes aus Stahlbetonfertigteilen, das sich ebenfalls in Kairo befindet. Hier wird deutlich, dass die innere Lufttemperatur viel höher ist als die Außentemperatur. Das heißt, wenn man zum Beispiel um vier Uhr Nachmittags im äußeren Bereich eine Temperatur von ungefähr 27°C hat, beträgt die Temperatur im Inneren des Gebäudes über 30°C.

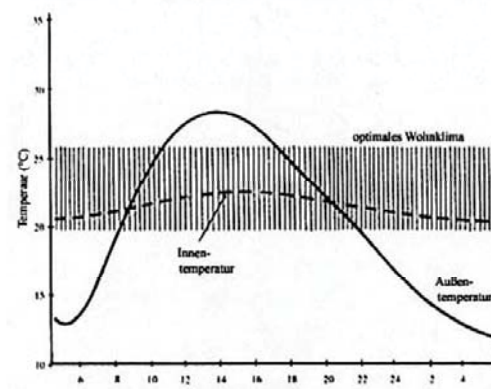


Abb.15: Vergleich der Innen- und Außentemperaturen bei einem Versuch von Lehmbauziegeln von 24 Tagesstunden

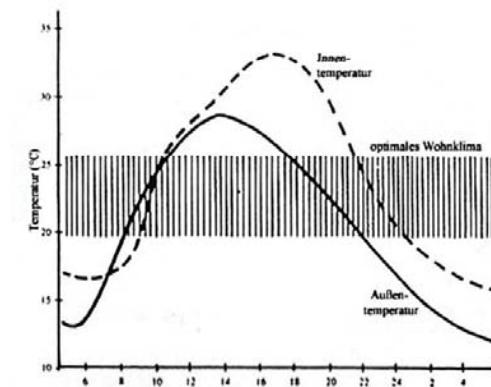


Abb.16: Vergleich der Innen- und Außentemperaturen innerhalb der 24 Tagesstunden bei einem Versuch an einem Stahlbetonfertigteibau

¹⁴ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987, S36.

02.4 Ausrichtung der Bauten

Die Sonne ist in den heißen Klimazonen die bestimmende Hitzequelle. Das wichtigste Entwurfsziel beim Planen ist es, eine optimale Ausrichtung zur Sonne und den vorherrschenden Winden zu erreichen. So müssen für die Planung eines Bauvorhabens der Sonnenstand für jede Tages- und Jahreszeit sowie die Richtungen der vorherrschenden Winde ermittelt werden, vor allem während der heißen Jahreszeit. Für die direkten Sonnenstrahlen genügt es, die Neigungs- und Höhenwinkel der Sommer- und Wintersonnenwende, also am 21.Juni und am 21.Dezember, sowie die Tages- und Nachtgleiche im Herbst und Frühjahr, 21.September und 21.März, zu kennen. Von diesen Daten kann man den Sonnenstand zu jeder beliebigen Zeit ableiten, wobei der Architekt diese Werte berücksichtigen soll. Bei mehreren Gebäuden, die ein Gebiet formen, gibt es noch zusätzlich das Moment der Reflektion von den angrenzenden Bauten und Windschutz durch Gebäudeballungen.

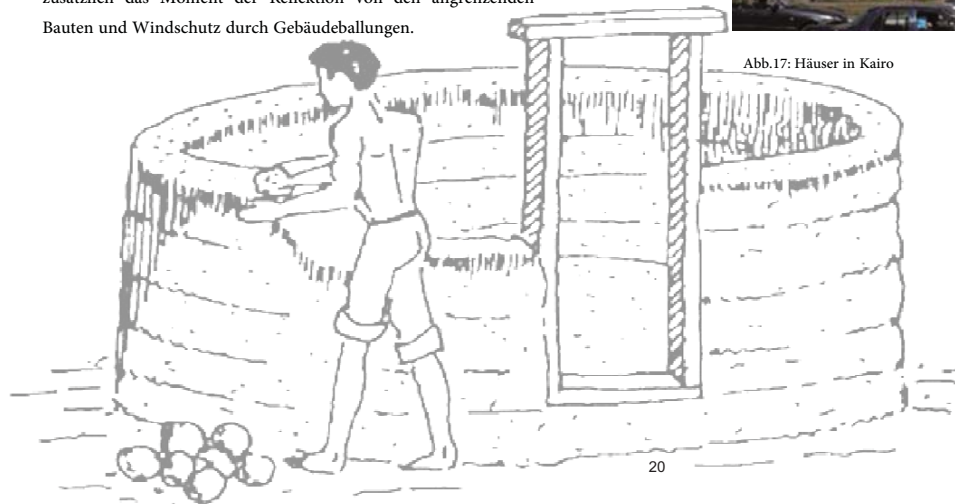


Abb.17: Häuser in Kairo

„Für Kairo beispielsweise, ist die optimale Ausrichtung eines Gebäudes nach der Sonne die von Osten nach Westen. In diesem Fall ist zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende die Nordfassade von 5.00 Uhr früh bis 9.00 früh den Sonnenstrahlen ausgesetzt. Um 5.00 Uhr haben die Strahlen einen Höhenwinkel von 0° , um 9.00 Uhr jedoch von $49^\circ 30'$; die Strahlen treffen in einem Winkel von nur $1^\circ 03'$ auf die Fassade. Bei der Südfassade beträgt der Höhenwinkel zur Mittagszeit $83^\circ 36'$; die Sonnenstrahlen dringt nicht in die Öffnungen der Südfassade, und durch einen leichten, richtig platzierten Überhang können die Öffnungen und die Wandoberfläche leicht verschattet werden. Die Ost- und Westfassade bilden die jeweiligen Enden der Häuserzeile und erhalten keine Öffnungen. Im Winter beträgt der Höhenwinkel zur Mittagszeit $36^\circ 34'$; so können die Sonnenstrahlen ins Haus eindringen und das Innere aufwärmen.“¹⁵

Laut meteorologischen Aufzeichnungen weht in Kairo der kalte Wind aus dem Nordwesten. So ergibt sich eine optimale Ausrichtung zum Wind, wenn die lange Seite der Häuserzeile von Nordosten nach Südosten gerichtet ist (Abb.18). Dadurch kann der Wind solange wie möglich auf der langen Oberfläche stehen. Eine optimale Ausrichtung einzelner Gebäude von Reihenhäusern mit der langen Seite von Osten nach Westen ist nicht immer möglich, da auch einige Häuser an Plätzen gebaut werden, die in einem beliebigen Winkel nach Norden liegen. In diesen Fällen benötigt man Mitteln zur Verschattung. Der schlimmste Fall tritt bei Häusern ein, deren Fassade nach Westen hin geöffnet ist. Denn da ist der Bau während des Tages der Hitze ausgesetzt und die Sonnenstrahlen dringen somit ins Hausinnere.

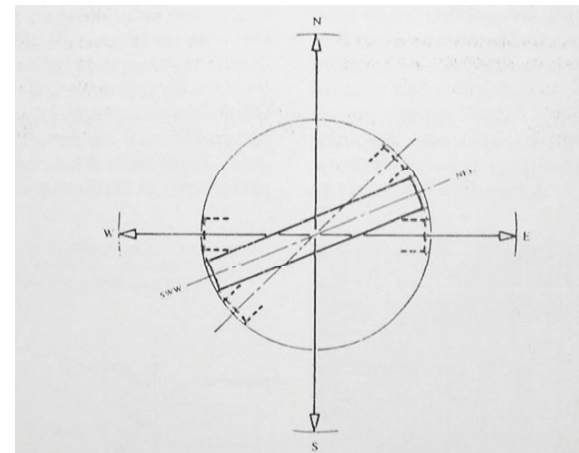


Abb.18: Optimale Orientierung einer Reihe von Häusern in Hinblick auf die Sonne und den Wind

¹⁵ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987, S37.

02.5 Nord-, Süd-, Ost-, Westfassade

Die Nordfassade ist am wenigstens der Sonne ausgesetzt, denn nur in den frühen oder späten Stunden des Sommers steht die Sonne auf dieser Seite. In diesem Falle verlaufen die Sonnenstrahlen fast tangential zur Wandoberfläche. Die Räume in dieser Lage haben aber den Vorteil, dass sie immer gleichmäßig ausgeleuchtet sind (Abb.19). Somit sind diese zum Beispiel für Operationsräume in Krankenhäuser oder Klassenräume ideal geeignet.

Ein Nachteil der Südfassade liegt darin, dass auf dieser Seite kein Wind weht, da die kühlen Winde im allgemeinen in der nördlichen Hemisphäre aus nördlichen Richtungen wehen. „Sonnenstrahlen können nicht wirklich manipuliert werden, aber ein Luftstrom: entweder durch den entsprechenden Entwurf, den Malqaf, den Windauslaß oder durch innenliegende Mashrabiya[...]“¹⁶

Die Sonne steht von Sonnenaufgang bis Mittag auf der Ostfassade. Diese Lage eignet sich besonders für Schlafräume, da sich bis zum Abend die Wände abkühlen. Durch Überdachung der Straßen schafft man eine Verschattung der Fassade. Dies findet man vor allem in den Städten und Oasendörfern Westasiens und Nordafrikas. Bei einzelнем Gebäude wird der Schatten durch architektonische Elemente wie Balkone, überdachte Loggien oder offene Galerien und Veranden erzeugt. Desweiteren können die Öffnungen durch Blendfenster, Sonnengitter, Brise-Soleils oder Mashrabiya abgeschirmt werden. Auf Details dieser Elemente gehe ich in den folgenden Kapiteln näher ein.¹⁷

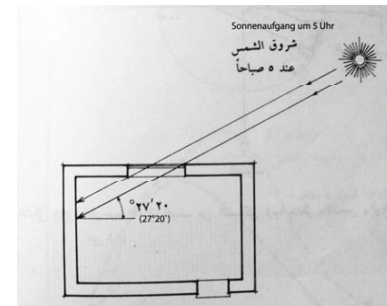


Abb.19: Schemaplan eines Raumes in Kairo. Der Raum ist nach Norden gerichtet mit einem Sonneneinfall von 27°20' (Nordfassade).

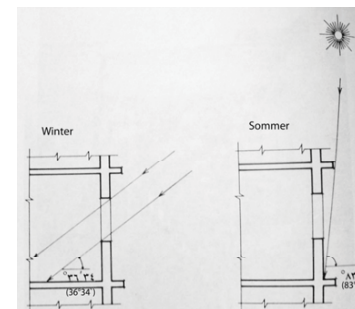


Abb.20: Sonneneinfall um 12 Uhr mittags an einer Südfassade in Kairo. Vergleich: im Sommer und im Winter (Südfassade).

¹⁶ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987, S37.

¹⁷ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987,538.

02.6 Luftbewegungen im Haus

Durch natürliche Luftbewegungen im Haus will man in den Räumen ein angenehmes Klima schaffen. Um diese zu erzeugen müssen im architektonischen Entwurf zwei Prinzipien beachtet werden. Erstens produzieren unterschiedliche Windgeschwindigkeiten ein Druckgefälle. Diese führt dazu, dass die Luft von der höheren zur tieferen Luftdruckzone fließt. Zweitens wird die Luft erhitzt, welches zu einer Konvektion führt. Somit steigt die warme Luft auf und wird durch eine kühlere Luft ersetzt. Es entsteht zwischen dem warmen Bereich und der Kaltluft-Einzugsöffnung ein Luftzug. Die Luftflussrate, welche durch Konvektion erzeugt wird, hängt von den Höhenunterschieden ab, in der sich die Öffnungen befinden. Je größer der Höhenunterschied der Öffnungen ist, umso größer wird der Luftfluss. Dieses Prinzip ist besonders wichtig, wenn die Luft im Äußeren steht und der Innenraum belüftet werden soll. Eine Öffnung kann dann nur die gewünschte Luftbewegung erzeugen, wenn auch ein Windauslass vorhanden ist. Ist die Fläche der Öffnungen auf der Windschattenseite größer als die Einlässe auf der windzugewandten Seite, so ist die Luftbewegung schneller und gleichmäßiger (Abb.21-22).¹⁸

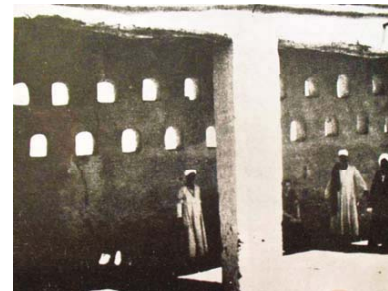


Abb.21: Durchlöcherter Wand in der windzugewandten Seite einer Loggia eines Madyafa oder Gästehaus in Gourni, Ägypten.

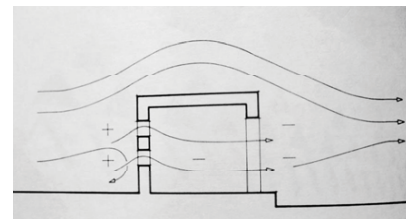


Abb.22: Schematische Skizze zur Erläuterung der aerodynamischen Prinzipien der Loggia. Die Plus- und Minus-Zeichen bezeichnen die Zonen unterschiedlichen Luftdrucks. Eine genauere Untersuchung ist notwendig, wenn wissenschaftliche Prinzipien zum thermischen Komfort beitragen sollen.

¹⁸ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987,S41.

02.7 Windauslass

„Ein Windauslass hat das Ziel, Luftbewegungen zu beschleunigen und Zugluft an Orten zu produzieren, die keine Öffnungen nach außen haben, wie zum Beispiel Keller. Dieser kann eine wirksame Belüftung und Luftzirkulation beschleunigen, wenn er zusammen mit anderen Einrichtungen zur Erzeugung von Luftbewegungen eingesetzt wird, wie Fenstern, Türen oder dem Malqaf.“¹⁹

In der Abbildung dreiundzwanzig sieht man deutlich den Verlauf der kalten Luft (blau eingezeichnete Pfeile), das ins Gebäudeinnere durch den Windturm (Malqaf) eindringt, und die warme Luft (rot eingezeichnete Pfeile), die durch die Öffnungen nach außen fließen.

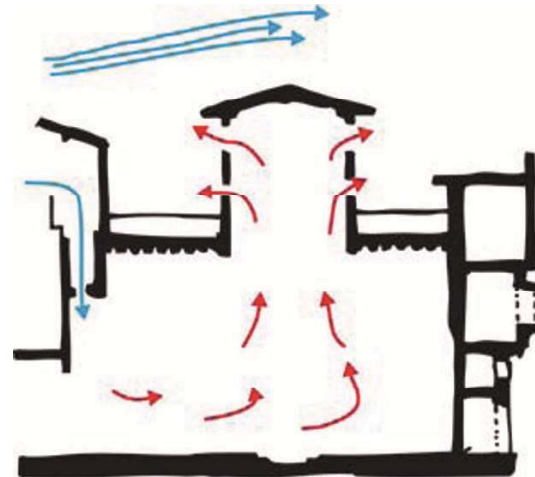


Abb.23: Schematische Darstellung der Luftbewegung am Beispiel eines Windturmes

¹⁹ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987,S42

02.8 Malqaf-Windfänger

Der *Malqaf* oder der Windfänger wurde entwickelt, um eine gute Belüftung zu gewährleisten. Er ist ein hoch über das Gebäude hinausreichender Schacht mit einer Öffnung, die gegen den vorherrschenden Wind, in Kairo der Nordwind, gesetzt wird. Er ist also eine Vorrichtung, um Wind einzufangen, welche am höchsten Gebäudepunkt liegt und am nördlichen Teil des Gebäudes weit hinausragend angeordnet ist. Dieser fängt somit den stärkeren und kühleren Wind und kanalisiert ihn hinunter ins Gebäudeinnere. Die Luft kann während des Stromes durch den Kamin mittels Holz, Holzkohle oder mit einem nassen Tonkrug weiter herunter gekühlt werden. Dieser filtert den Sand aus der Luft und befeuchtet es. Somit wird durch den *Malqaf* gleichzeitig der Staub- und Sandgehalt reduziert. Denn der Wind, der über dem Gebäude durch den *Malqaf* eingefangen wird, enthält weniger Partikeln als der Wind in Bodennähe, da es weit über dem Bodenniveau liegt. Die wenigen Partikeln, die er mit einfängt, werden am Boden des Schachtes abgelagert. Außerdem macht der *Malqaf* den Einbau von gewöhnlichen Fenstern zum Lüften überflüssig (Abb.24-26).²⁰

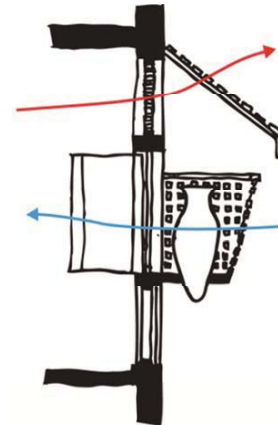


Abb.24: Schematische Darstellung des Luftstromes durch die Öffnungen

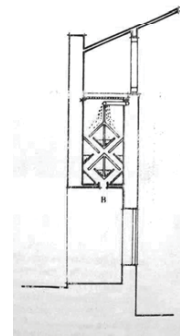


Abb.25: Malqaf Alternative 1

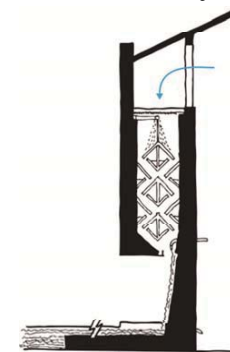


Abb.26: Malqaf Alternative 2

²⁰ <http://www.lrz-muenchen.de/~architektur/studium/veroeffentlichung/kairo/fathy.pdf>

Die Grundidee des Windturmes verbreitete sich auch in anderen Ländern, wie zum Beispiel in Iran und Afghanistan. Da aber im Iran der Wind nicht nur aus einer Richtung weht, wie in Ägypten der Fall ist, entwickelte sich dort eine andere Form, nämlich der *Badgir*. Er ermöglicht es Wind aus jeder Richtung einzufangen. Das Grundprinzip ist jedoch das gleiche. Ein *Badgir* ist also eine Weiterentwicklung des *Malqafs*. In Hyderabad in Pakistan wurden die sogenannten Wind Scoops entwickelt. Sie bestehen seit etwa 500 Jahren und sind vom Prinzip her ein *Malqaf*. Da in Hyderabad der Wind auch aus einer Richtung weht, haben sie jedoch eine andere Form, die typisch für die Architektur in Hyderabad sind. Der *Malqaf* wird vor allem in dicht bebauten Städten warmfeuchter Zonen angewendet, da bei den Gebäudegruppen die Windgeschwindigkeit auf Straßenhöhe reduziert wird und sich gegenseitig vor dem Wind abschirmen. Somit ist in diesen Anlagen der Bau eines *Malqafs* von großer Bedeutung (Abb.27). Die äußere Lufttemperatur bestimmt dessen Größe. Ist die Lufttemperatur am Einlass niedrig, so muss er größer sein. Ist die umgebende Lufttemperatur höher als noch als annehmbar empfunden, so muss er kleiner sein, vorausgesetzt, dass die Luft, die durch den *Malqaf* strömt, abgekühlt ist, bevor sie ins Innere strömt. Im Irak, wo im Sommer die Temperatur bis auf 45°C steigt, ist der typische *Malqaf*-Schacht sehr eng. Er ist in die Nordwand eingelassen, mit einem kleinen Einlass, der bewirkt, dass sich die Luft abkühlt, bevor sie ins Innere strömt. Dort hängen die Menschen meistens nasse Matten vor die Fenster, um den in den Raum gelangenden Wind durch Verdunstung abzukühlen.²¹



Abb.27: Malqaf des Qua'as des Suheimi Hauses von Hassan Fathy

²¹ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88, Aachen 1987, S.43.



02.9 Räumliche Struktur

Aus mehreren Elementen setzt sich das Windturmhaus zusammen. So ist der *Malqaf* ein Teil eines gesamten Klimatisierungssystems. Das Gebäude besitzt neben dem *Malqaf* einen *Qa'a*. Dieser ist ein Wohnraum in einer Villa, ein Raumgefüge zum Empfang von Gästen oder ein Besprechungsraum in einem öffentlichen Gebäude. Bei Fathys Entwürfen ist dieser Bereich der architektonisch komplexeste Raum. Er erfüllt eine Reihe von Funktionen, wie Essen, Wohnen, Arbeiten und Schlafen. Traditionell besteht der *Qa'a* aus drei zusammenhängen Räumen, nämlich einem zentralen Teil, der *Durqa'a* genannt wird, ein hoher Raum ohne Teppichbelag und Wandbehänge, der zur Beleuchtung und Belüftung dient und der dritte Bereich ist ein aus zwei geschlossenen, höher gelegenen und mit Teppich ausgelegten Nischen, der als *Iwanat* bezeichnet wird. Da dieser gut verschattet und belüftet ist, wird er im Sommer tagsüber als Aufenthaltsraum genutzt. Das Dach des *Durqa'as* liegt höher als die Dächer der *Iwanat*. Die Fenster im oberen Teil sind mit *Mashrabiyyas*, auf die ich in einem eigenen Kapitel näher eingehen werde, verkleidet. Diese erzeugen nicht nur eine gebrochene und angenehme Beleuchtung, sondern gewährleisten auch den gewünschten Luftauslass. Vom *Malqaf* aus wird, wie bereits erwähnt, kühlere, weniger sandiger Wind aufgesaugt (Abb.28-30).

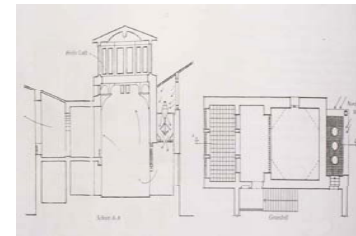


Abb.28: Schnitt und Grundriss durch einen Malqaf mit befeuchteten Dämpfern und Windauslaß, Entwurf von Hassan Fathy

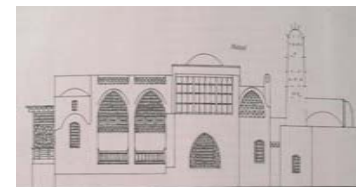


Abb.29: Ansicht des Hauses Fu'ad Riyyad. Der Malqaf befindet sich unter der Kuppel.

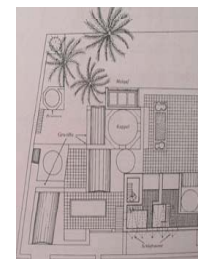


Abb.30: Grundriss des Hauses Fu'ad Riyyad

Der *Malqaf* im nördlichen Iwan-Teil kanalisiert die kühle Luft aus dem Norden in den *Qa'a*. Im nördlichen Iwan reduziert sich die Geschwindigkeit der Luft. Die Temperatur wird weiter gesenkt und kühlt damit die angrenzenden Räume. Dann gelangt die kühle Luft in den *Durqa'a*, nimmt dort die Wärme auf und steigt dann in Folge vom Auftrieb durch die Hitze in den oberen Teil des *Durqa'a* hoch, wo sie durch den *Mashrabiya*s entweicht. Diese Luft wird im Dach vom Sog hinausgeleitet und somit wird die verbrauchte Luft aus dem Gebäude geleitet. Die Luft aus der Umgebung des *Durqa'a*s entweicht also in den Wind und wird ständig durch innere Luft ersetzt.²²

Somit ergibt sich durch den *Qa'a* ein geschlossener Kreislauf, dass durch die Anordnung von Öffnungen verursacht wird, auch wenn außerhalb die Luft stillsteht. Daher ist es wichtig, dass der *Qa'a* in der Mitte des Gebäudes liegt und von Räumen umgeben wird, die seine Wände vor der Hitze schützen.²³

*„In old Cairene houses the function of ventilation in the principal halls (qa'as) is performed by a device called the malkaf that catches the wind high up, where it is strong and clean, and by a special design of the room, with the central part (durqa'a) very high, that lets hot air escape at the top. Such a wind catch may be set at precisely the right angle to catch the wind, irrespective of the orientation of the house.“*²⁴

-Zitat: Hassan Fathy

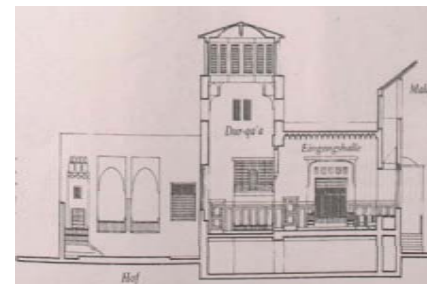


Abb.31: Schnitt durch die Eingangshalle einer saudi-arabischen Villa. Der Entwurf von Hassan Fathy vereinigt ein vollständiges Klimasystem, einschließlich Malqaf, Eingangshalle und Sahn (Hof). Die Dekoration überspielt die imposante Höhe des Duqa'a von 13m.

²² http://www4.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248,id_57,s_Papers.fb15

²³ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88, Aachen 1987, S43

²⁴ Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S 49.

02.10 Badgir

Der *Badgir* (Abb.32-33) ist, wie bereits erwähnt, ein besonderer Typus des *Malqafs*, welche im Iran und in den Golfstaaten entwickelt wurde. Dieser besteht, hingegen zum *Malqaf*, welche nur einen Kanal besitzt, meist mindestens aus zwei vertikalen Kanälen. Der Schacht reicht von den untersten Räumen des Gebäudes bis über das Dach hinaus und dessen obere Öffnung befindet sich auf vier Seiten. Die Höhe des Turmes ermöglicht einen auf Wärmeströmung beruhenden Kamineffekt, sowie das Zuführen frischerer Luft. Herrschen im Gebäude höhere Temperaturen als außerhalb, wird von außen kühlere Luft angesaugt. Gewöhnlich ist der *Badgir* ein dekoratives architektonisches Element und kann mit anderen Einrichtungen kombiniert werden. Er kann paarweise oder in Viererkombination zur Kühlung von unterirdischen Wassertanks eingesetzt werden. *Badgire* werden aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit im Gegensatz zu den elektromagnetischen Ventilatoren und Klimaanlage bevorzugt.²⁵



Abb. 32: Badgir-Yazd, Iran

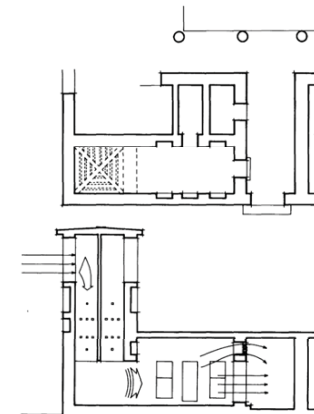


Abb. 33: Grundriss und Schnitt eines Badgirs

²⁵ <http://de.wikipedia.org/wiki/Badgir>

02.11 Brunnen

In den heiß-trockenen Regionen versuchen die Menschen das Wasser so lange wie möglich festzuhalten. Es hat im physikalischen Sinn eine erfrischende Wirkung und einen erfreulichen psychologischen Effekt. Mittels Brunnen (Abb.34) oder Wasserinne entsteht durch die Nutzung der Verdunstungskühle eine energiesparende Klimatisierung für das ganze Gebäude. So besitzt der Brunnen im arabischen traditionellen Haus eine besondere Rolle, da es die Luftfeuchtigkeit erhöht, ähnlich wie beim Kamin, der zum Aufwärmen in den kälteren Regionen notwendig ist. Er nimmt einen privilegierten Platz im Hause ein. Der Brunnen stand ursprünglich inmitten des Innenhofes.²⁶



Abb. 34: Innenhof mit Brunnen im Nassief Haus von Hassan Fathy



²⁶ <http://www.lrz-muenchen.de/~architektur/studium/veroeffentlichung/kairo/fathy.pdf>

02.12 Salsabil

Der *Salsabil* besteht aus einer dekorierten, schrägen Marmorplatte über die ständig Wasser läuft und wurde in Bereichen entwickelt, in denen nicht genug Druck erzeugt werden konnte, um das Wasser durch den Brunnenkopf speien zu lassen. So fließt das Wasser über die Oberfläche der Platte und fördert somit durch die Verdunstung eine Kühlung und Luftbefeuchtung. Sie ist gegenüber den Iwanat oder Sitzplätzen in einer Nische an der Wand angebracht und soll Wasser sowie Wind symbolisieren. Das Wasser mündet dann in einen Marmorkanal, der zu einem Brunnen in der Mitte des Dur-qa`a gelangt (Abb.35-36).²⁷

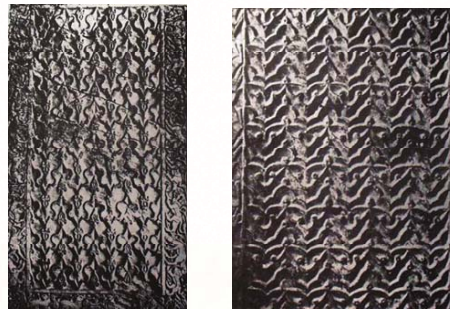


Abb. 35-36: Oberflächengestaltung eines Salsabils

„Seeing is like hearing music. We hear note after note, it goes to the brain, and you make the melody in the brain. Seeing an image is rhythmic, although it is very quick. When I see, I have this line going here, and that line going there. These lines should be harmonic like music.“²⁸



²⁷ <http://www.lrz-muenchen.de/~architektur/studium/veroeffentlichung/kairo/fathy.pdf>

²⁸ J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Ismail; Hassan Fathy, London 1985, S27.

02.13 Das traditionelle ägyptische Haus

Das typische ägyptische Haus gruppiert sich um eine zentrale bedachte oder unbedachte Räumlichkeit. Diese dient meist zur klimatischen Regulierung. Die heiße Luft kann durch Luftdruckdifferenzen leichter nach oben hin abfließen und nachts die kühlere auf dem Dach liegende Luftschichten in den Innenraum absinken. In Form eines Innenhofs ist dieser zentraler Innenraum aufgrund klimatische sowie soziale Gründe bis heute erhalten. Im Grundriss wird meist quadratische bis rechteckige Form angestrebt, die sich in Streifen unterteilen lässt. Der Innenhof ist Ost-West gerichtet, damit der Schatten mittags den ganzen Hof erfasst (Abb.37-38).

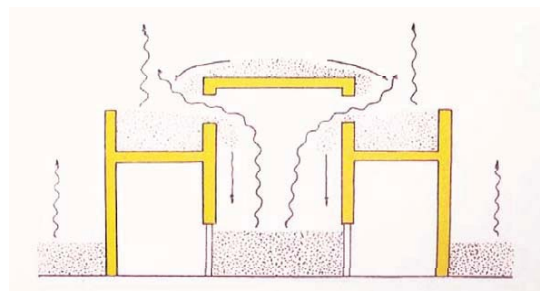


Abb. 37: Belüftungsverhältnisse in einer geöffneten Mittelhalle

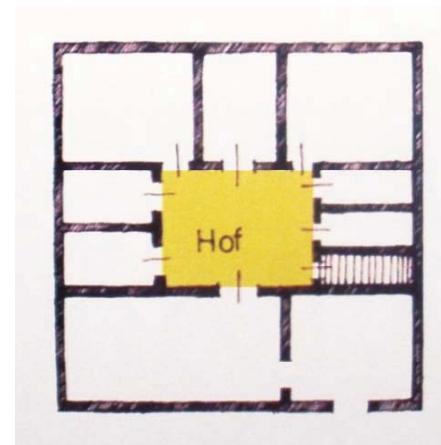


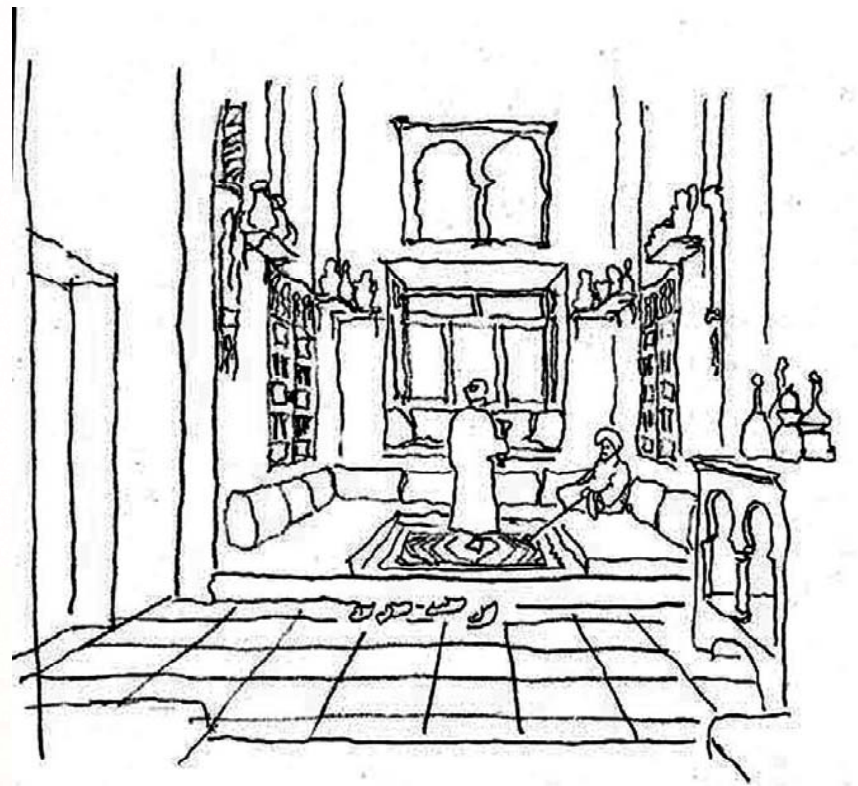
Abb. 38: Schematische Darstellung eines Hofhauses

02.14 Innenhofhaus Sahn

In den alten arabischen Häusern spielt der Innenhof eine bedeutende Rolle (Abb.39). Die Erschließung der einzelnen Häuser erfolgt über einen Hof, der ebenfalls eine Trennung von Empfangs- bzw. Repräsentationsräumen und Bereichen, wo sich das Familienleben abspielt, ermöglicht. Die Räume orientieren sich nach innen zu diesem Freiraum und lehnen sich an die nach außen geschlossene Umfassungsmauer an. So können die Türen, im Vergleich zur Eingangstüre an der Straßenseite, problemlos offen gelassen werden. Der Innenhof als zentraler Erschließungsraum hat sich bis heute, vor allem in ländlichen Regionen Ägyptens, erhalten. Dieser hat soziale als auch klimatische Gründe. So dient er einerseits als Gemeinschaftsraum und andererseits zur Klimatisierung des Hauses, durch die Bildung von „Kaltluftseen“.²⁹



Abb. 39: Beispiel eines Innenhofs



²⁹ Dribika, Amjed: Diplomarbeit, Oea Resort, Mai 2008, S25.

Dadurch dass die Lufttemperatur nach Sonnenuntergang in den heiß-trockenen Zonen erheblich sinkt aufgrund der Hitze-Rückstrahlung in den Nachthimmel und die Luft frei von Wasserdunsten ist, begannen die Menschen ihre Häuser nach außen hin zu verschließen und diese dann im Inneren zu Innenhöfen, Sahn genannt, zu öffnen. Dies ermöglicht ein Temperaturgefälle während der Nacht von 10 bis 20°C. Die warme Luft steigt während des Abends im Innenhof, welche direkt durch die Sonne und indirekt durch die Wärme der Gebäude aufgeheizt wurde, hoch und wird dann durch die bereits abgekühlte Nachtluft von oben ersetzt, die in die umliegenden Räume sinkt. Morgens, in dem Zeitpunkt wo die Sonne direkt in den Hof scheint, heizt sich die Luft in dem Innenhof wieder auf. Aus diesem Grund findet das Innenhof-Konzept allgemeine Verbreitung in der traditionellen Architektur heiß-trockener Regionen, da die Einplanung dieses Innenhofs der Nachtkühlung dient.³⁰

Ebenso war für Hassan Fathy der Innenhof einer der wichtigsten Bereiche in seinen Ensembles. Individuelle Räume sind aufgrund des Lichts und der Luft um den Innenhof gruppiert. Dieser fungiert auch als ein unabhängiger Raum mit eigener Identität, oft durch eine Loggia angereichert und mit einem Brunnen geschmückt. Ebenfalls ermöglicht der Innenhof einen schönen Ausblick auf den Himmel (Abb.40).³¹



Abb. 40: Innenhof einer Grundschule für Mädchen in New Gourna von Hassan Fathy

³⁰ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987,S46.

³¹ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987,S53.

02.15 Mashrabiya - Gitterfenster aus Holz

Der Begriff *Mashrabiya* leitet sich vom arabischen Wort für „trinken“ ab. Ursprünglich bezeichnete dies „einen Ort zum Trinken“, der ein freistehender Raum mit einer Gitteröffnung war. Darin befanden sich kleine Wassergefäße, die zur Kühlung durch den Verdunstungseffekt, der durch die Öffnungen dringenden Luft entsteht, gestellt wurden. Heute bezeichnet die *Mashrabiya* eine Öffnung in der Außenwand, die mit einem Holzgitterschirm aus kleinen, runden Holzstäben geschlossen ist. Diese erfüllt fünf Funktionen. Sie kontrolliert den Durchfluss von Licht und Luft, reduziert die Temperatur und Feuchtigkeit des Luftstroms und sichert die Privatsphäre vor fremden Einblick, wobei sie den Blick nach außen frei lässt.

Das Tageslicht, das in einem Raum mit Öffnungen zum Süden einfällt, besteht aus zwei Komponenten. Einerseits aus dem hochintensiven Sonnenlicht, das in einem sehr großen Winkel zur Fläche der Öffnung einfällt, andererseits aus der nicht so intensiv reflektierten Helligkeit, die fast ungebrochen durch die Öffnung eindringt. Durch das Sonnenlicht, das durch die Öffnung eindringt, wird die Oberfläche des Raumes aufgeheizt. Die reflektierte Helligkeit heizt den Raum nicht auf, aber sie produziert unangenehmes Licht. So werden die Größe der Zwischenräume und der Stäbe so eingestellt, dass sie die direkte Sonneneinstrahlung brechen. Dafür benötigt man ein Gitter mit kleinen Zwischenräumen. Die runden Stäbe dämpfen auf ihren Oberflächen das Licht soweit ab, dass der Übergang zur blendenden Helle des Tageslichts abgestuft wird (Abb. 41-43).

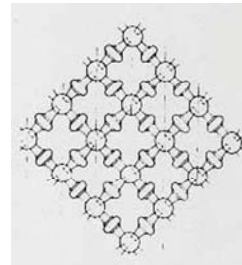


Abb. 41: Mashrabiya aus gedrehtem Holz, Variante 1

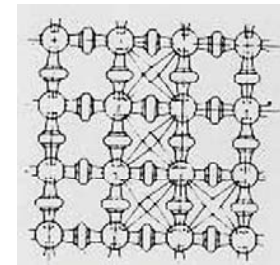


Abb. 42 : Mashrabiya aus gedrehtem Holz, Variante 2

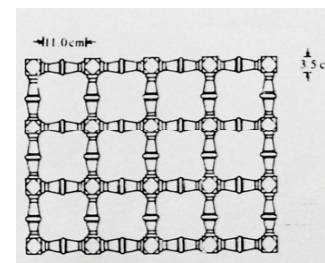


Abb. 43: Sahrighi-Gitter

Die Gestalt des Gitters erzeugt eine Silhouette (Abb. 44), welches das Auge von einem Stab zum nächsten führt. Die Zwischenräume des Gitters werden im oberen Bereich größer gewählt, um den dämmenden Effekt auszugleichen. Das reflektierte Licht erhellt somit den oberen Teil des Hauses. Die Zwischenräume in den Öffnungen der Nord-Fassade sind groß gewählt um den Raum ausreichend auszuleuchten, da direktes Sonnenlicht kein Problem darstellt. Eine typische *Mashrabiya* setzt sich aus zwei Teilen zusammen, nämlich aus einem unteren feinmaschigen Teil mit schmalen Stäben und aus einem oberen Teil Großmaschigen Gitter aus gedrechseltem Holz, was somit auch eine Privatsphäre ermöglicht. Die kühlende und feuchtigkeitsspendende Funktion ergibt sich aus der Fähigkeit des Holzes Wasser zu speichern und zu absorbieren. Der Wind, der durch die Zwischenräume des durchlässig-hölzernen *Mashrabiya*s weht, gibt einen Teil seiner Feuchtigkeit ab. Somit ermöglicht dies die trockene Luft während der Hitze des Tages anzufeuchten. Verschiedene Ornamente verzieren jedes Fenster anders. Sowohl runde als auch eckige Stäbe werden verwendet, bilden die Zwischenräume für den Lichteinfall und werden zur Fenstermitte enger gesetzt. Bei allen Stabformen wird der Lichteinfall durch Einkerbungen reduziert und verschafft somit angenehme Lichtverhältnisse im Innenraum.³²



Abb. 44: Detail einer Mashrabiya

³²ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987, S49.

02.16 Clastrum

Oft werden viele kleine Öffnungen als große Öffnungen bevorzugt, aufgrund der Privatsphäre, der Sicherheit, der einheitlichen Verteilung des Luftflusses, der Blockierung direkter Sonneneinstrahlung oder der Dekoration. Große Öffnungen können mit einem Gitterwerk in Form einer durchlöchernten Schirmwand verkleidet werden. Ursprünglich wurden diese Gitter, die *Clastra* genannt werden, in großen Öffnungen hoch oben in Römischen Bädern eingesetzt. Sie bestehen normalerweise aus gemeißelten Stuckplatten mit verschiedenen dekorativen Mustern. Diese dienen dazu, die heiße Luft, die sich in den oberen Bereichen ansammelt, abzuführen. Ebenfalls werden sie in Brüstungswände oder niedrige Wände um Flachdächer herum eingebaut. Dadurch entstehen Luftzüge für jene, die das Dach im Sommer zum Schlafen benutzen. Manchmal wird das *Clastrum* als Brise Soleils über die ganze Fassade eingesetzt, was das Auge durch die blendenden Kontraste von Licht und Schatten nur irritiert. Das *Clastrum* ist nur dann in den auf Augenhöhe wirksam, wenn es in selten benutzte Innenräume eingebaut wird, wie zum Beispiel bei einer Treppenhauswand oder außen bei Innenhöfen oder bei Dächern (Abb. 45-46).³³

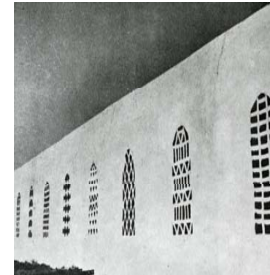


Abb. 45: Clastrum in Neu Gourna von Hassan Fathy

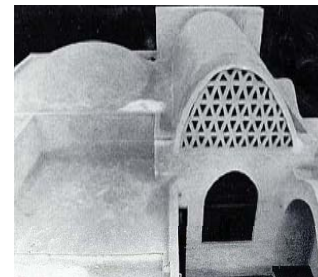


Abb. 46 : Clastrum in Samys Haus von Hassan Fathy

³³ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987, S50.

02.17 Wandsysteme

Lehmbautechniken sind seit mehr als 9000 Jahren bekannt. In Ägypten haben Ausgrabungen gezeigt, dass in pharaonischen Zeiten bereits großflächige Siedlungen beinahe ausschließlich aus Lehmziegeln (Abb. 47) entstanden sind. Neben gebrannten Ziegeln waren luftgetrocknete Ziegel wichtige Baustoffe. So bauten die Ägypter ihre Häuser aus luftgetrockneten Nilschlammziegeln. Um die Festigkeit ihrer Ziegel zu erhöhen, mengten sie Stroh oder Schilf in die Mischung und erreichten so die dreifache Festigkeit.

„Der Lehm (arab.:Tafla) ist sehr vielseitig; wenn man die Mauer wegbriecht und Wasser dazu gibt, kann man das Material wieder neu benutzen. So kann man ein Haus abbrechen und das Material anders verwenden. Er ist nicht, im Verhältnis zu Beton, tot, er lebt, seine Flexibilität ist einfach endlos.“³⁴

-Zitat Hassan Fathy



Abb. 47: Lehmsteine

³⁴ Mazhar, Niel: Diplomarbeit, Ein Wohnbau für die Sekem Farm in Ägypten, Wien 2007, S53.

In Ägypten ist die gebräuchlichste Bauweise mit Lehm der Lehmziegelbau. Der verwendete Lehm sollte einen mittleren bis fetten Tonanteil aufweisen. Die verwendeten Lehme dürfen keine Bestandteile mit einer Korngrösse über 5 mm enthalten. Lehmziegeln wurden traditionell aus Nilschlamm hergestellt. Jedoch blieben nach dem Bau des Assuanstaudammes in den siebziger Jahren in Oberägypten die Nilschlammlagerung aus. Dadurch schwinden die Ressourcen des Lehms aus Nilschlamm, weswegen die ägyptische Regierung ein Verbot für die traditionelle Verwendung von Lehmziegel ausgesprochen hat. Daher suchte man nach neuen Ressourcen. Der Weiße Ton stand dann zur Verfügung, welche in den Gebirgen nahe den Dörfern der westlichen Gebiete des Nils vorkommt. Der Acker-Ton wird in Ackerländern und Kulturböden gewonnen. Der bräunliche bis dunkelgraue Wüsten-Ton wurde erst in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren entdeckt. Dieser weist ähnliche technische Eigenschaften wie der Nillehm auf und ist reichlich vorhanden. Deshalb ist er zur Erzeugung von Bausteinen besonders geeignet. Für den Bau einer tragenden Wand können Stampflehm, Wellerlehm und Lehmsteine verwendet werden.³⁵



³⁵ Mazhar, Niel: Diplomarbeit, Ein Wohnbau für die Sekem Farm in Ägypten, Wien 2007, 555.

Hassan Fathy war der Ansicht, dass die Industrialisierung eine Ursache für Bevölkerungswachstum, Landflucht und Armut ist. Er griff in seiner architektonischen Umsetzung auf historische und teilweise vergessene Vorbilder zurück. Fathy begriff, dass die konkrete Unterkunft-Lösung nicht nur unmenschlich sondern auch kostspielig ist, aufgrund der teuren und industriell gefertigten Materialien. Deshalb entschied er anständige Wohnungen mit lokal verfügbaren Ziegeln, gemacht aus Schlamm und Stroh, zu entwerfen. Für ihn war die Erde das beste und bewährteste Baumaterial, da diese kostenlos und überall vorhanden ist. Außerdem lässt sich daraus der Ziegel als Baustein herstellen (Abb.48). Der Lehmziegel kühlt, aufgrund der geringen natürlichen Wärmeleitfähigkeit, im Sommer den Innenraum und hält im Winter die Wärme im Inneren des Gebäudes.³⁶



Abb. 48: Wand aus luftgetrockneten Lehmziegeln

³⁶ <http://www.lrz-muenchen.de/~architektur/studium/veroeffentlichung/kairo/fathy.pdf>.

02.18 Wände aus Lehmsteine

In allen trocken-heißen, subtropischen und gemäßigten Klimazonen der Erde ist der Lehmsteinbau verbreitet. Die Produktion, die man heute als Lehmsteinbau oder Adobe kennt, ist das Produkt einer langen Entwicklung. In Oberägypten stehen heute noch Reste monumentaler Lehmbauten, wie die Lehmsteinmauern in Medinet Habu. Lehmsteine sind gegen Feuchtigkeit sehr empfindlich, bieten aber den heißen Gebieten wie Ägypten, Libyen etc. entscheidende Vorteile, wie bereits erwähnt. Die gebräuchlichste Herstellungstechnik in den Entwicklungsländern, beispielsweise in Ägypten, ist das „Pätzen“ von Lehm. Dabei wird ein sandiger Lehm mit Wasser zersetzt und mit einer Schaufel gewendet, dann mit Füßen gestampft und geknetet, um die festen Lehmklumpen zu lockern. Traditionell wird die Masse mit Tiermist oder Stroh versetzt, um beispielsweise bei Gewölbeziegeln das Gewicht zu verringern und die Zugfestigkeit zu erhöhen. Je stärker das Material mit den Zuschlagstoffen vermengt und durchgearbeitet wird, desto größer ist die Druckfestigkeit. Die Masse wird anschließend mit Häckseln bedeckt und man lässt sie dann für zwei bis drei Tage ziehen. Innerhalb dieser Zeit wird sie zwei bis dreimal umgerührt. Danach wird die feuchte Masse mit der Hand schwungvoll in die am Boden liegenden Holzrahmen, der meistens die Masse 24x11x6 cm beträgt, gepresst und wiederum mit Sand und feinen Häckseln bestreut.



Abb. 49: Beim Stampfen der Lehmziegel



Abb. 50: Die Oberfläche der Lehmziegel wird abgezogen



Abb. 51: Beim Entfernen der Holzform

Mit der Hand, einer Kelle, einem Holz oder einem Draht wird die Oberfläche abgezogen. Die Steine werden durch ruckartiges Hochziehen der Holzform entformt. Daraufhin folgt die Trocknungsphase an der Luft von fünf Tagen im Sommer und zehn bis fünfzehn Tagen im Winter. Um Schwindrisse an der Oberfläche zu vermeiden, die beim Trocknungsverfahren durch direkte Sonnenbestrahlung entstehen können, sollten die Lehmziegel bedeckt oder unter Dach getrocknet werden. Diese Lehmziegel können dann anschließend ohne weitere Bearbeitung mit Lehmmörtel aufgemauert werden. Die Mauerstärken betragen meist etwa 47cm und nach dem Verputzen 53-57cm. Solche manuell hergestellten Lehmsteine haben in der Regel höhere Druckfestigkeiten als jene Lehmsteine, die mit Pressen erzeugt wurden (Abb.49-52).³⁷

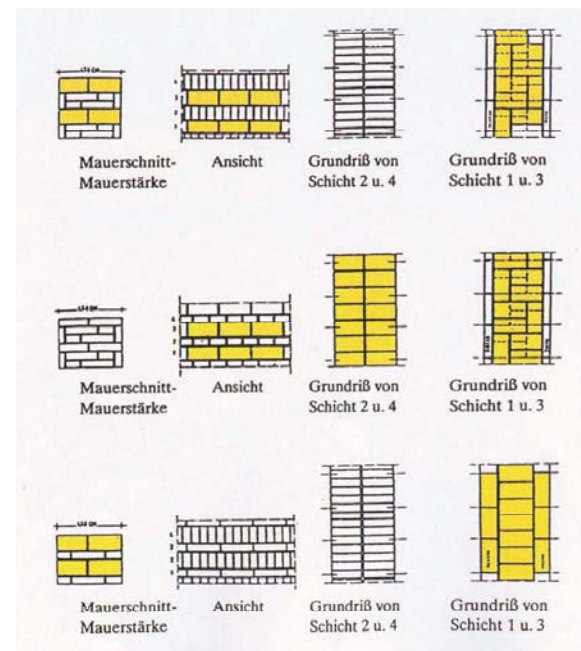


Abb.52: Darstellung von verschiedenen Mauerverbänden

³⁷ <http://www.lrz-muenchen.de/~architektur/studium/veroeffentlichung/kairo/fathy.pdf>.

02.19 Compressed Earth Blocks (CEB)

Die Herstellung von Ziegeln in traditioneller Bauweise ist eine schwere Aufgabe und benötigt sehr viel menschliche Kraft. Die „Tafla“ Ziegel schrumpfen während dem Trocknen, haben eine niedrige Druckfestigkeit und haben gegen Feuchtigkeit eine geringe Resistenz. Um diese Probleme zu vermeiden sind die Ziegeln aus komprimierte Erde, „Compressed Earth Blocks“ (CEB-Block), eine gute Lösung, um die Qualität dieser Ziegeln zu verbessern. Diese Ziegeln haben eine höhere Druckfestigkeit, sind in Größe und Form regelmäßiger, sowie einfacher in Handhabung und Aufbau. Desweiteren ist es ein energieeffizientes und feuerfestes Material. Es ist kein Transport sowie Härungszeit erforderlich (Abb. 53-55).

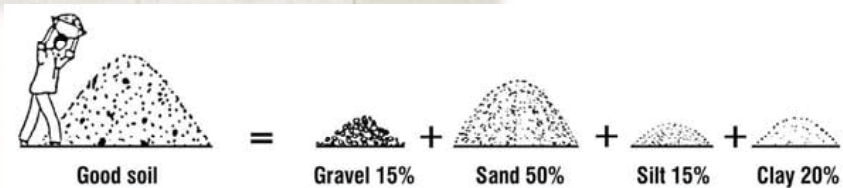
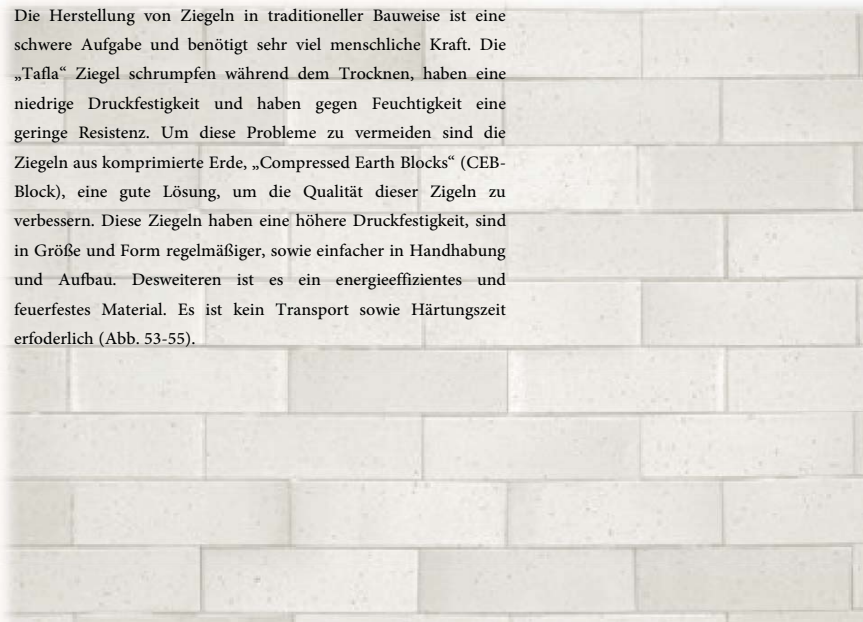




Abb.53-55:Herstellung von CEB-Block



02.20 Wände aus Stampflehm

Der Stampflehm (Abb. 56) ist eine sehr alte Technik, bei der die Wände durch das Stampfen des Lehmmaterials vor Ort hergestellt werden. Diese Bauweise ist in allen Erdteilen als traditionelle Wandbauweise bekannt. Dabei wird erdfeuchter Lehm auf den planebenen, tragfähigen Untergrund in 10 bis 15 cm dicken Schichten in eine bewegliche Wander- oder Kletterschalung eingebracht und mittels Stampfern aus Holz oder Stein verdichtet. In der Regel besteht die Schalung aus zwei parallel zueinander angeordneten Brettern, die durch Querhölzer oder Querstangen miteinander verbunden sind und nach kurzem Trocknen weiterversetzt wird. Die seitlichen Schaltafeln wurden bei den traditionellen Schalungen durch „Traversen“, welche die Wand durchdringen, zusammengehalten. Die dadurch entstandenen Durchbrüche mussten nach der Schalung wieder gefüllt werden. Um dies zu vermeiden wurden traversefreie Schalungen entwickelt. Aufgrund der hohen körperlichen Anstrengung wird die Stampflehmtechnik heute nur noch in den Entwicklungsländern ausgeführt. Das Aufbauen und Justieren der Schalung, das für das Stampfen erfordert wird, benötigt etwa 30% der Zeit. Allgemein benötigt man etwa 20 bis 30 Stunden je m³ um Stampflehmwände ohne Maschineneinsatz zu errichten. Die Schalbretter müssen stabil sein, in der Regel 30 bis 45mm dicke Holzbretter, so dass sie sich beim Stampfen nicht nach außen durchbiegen. Desweiteren soll das Schalungssystem in der Vertikalen und in der Horizontalen leicht justierbar sein und die Einzelteile sollten so leicht sein, dass sie von zwei Personen bequem transportiert werden können. In den Industrieländern machen elektrische oder pneumatische Verdichter den Stampflehmbau interessant.³⁹

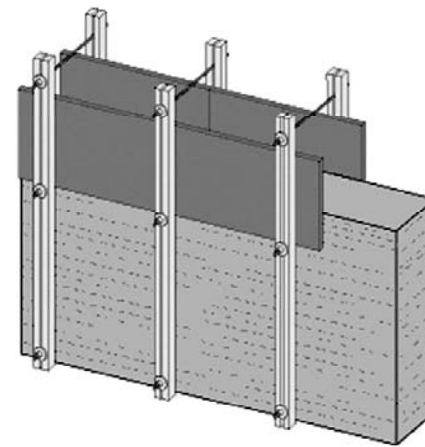


Abb.56: Stampflehmwand

³⁹ Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995¹, S99.

Der monolithische Aufbau einer Stampflehmwand bewirkt sehr hohe Festigkeit, eine hohe Lebensdauer und eine geringe Erosionsempfindlichkeit. Schlecht bindige Lehmen können im Stampfbau verarbeitet werden und es lassen sich Installationsschächte, Lüftungen, Rauchgaszüge sowie Kamine im gleichen Arbeitsgang aussparen. Nachbearbeitungen sind leicht möglich. Stampflehmwände benötigen im Vergleich zu anderen Lehmwänden wenig Arbeits- und Materialaufwand für die Oberflächenbehandlung und müssen nicht unbedingt verputzt werden. Wenn man die frisch ausgeschalte Wand mit einem feuchten Filzbrett abreibt, erhält man eine glatte tapezier- und streichfähige Oberfläche. Falls die Außenfläche der Stampflehmwand durch einen ausreichenden Dachüberstand gegen Schlagregen und durch einen Sockel gegen Spritzwasser geschützt ist, dann reicht ein Anstrich vor weiteren Witterungseinflüssen aus. Jedoch muss man beachten, dass dieser Schutzanstrich nicht durch Risse oder Abplatzungen beschädigt ist.⁴⁰

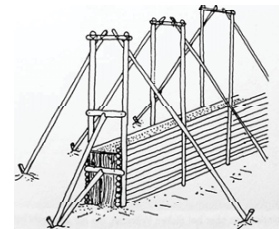


Abb. 57: Stampflehm-Schalungen mit seitlicher Abstützung

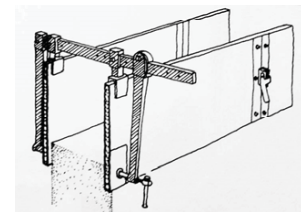


Abb. 58: Traversenfreie Stampflehmschalung

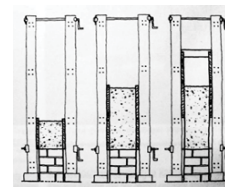


Abb. 59: Zur Stabilisierung sind die Wandelemente zur Errichtung einer Stampflehmwand miteinander verzahnt

⁴⁰ Minke, Gernot: Lehm-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995³, S114.

Diese Technik eignet sich für vielgeschossige Bauten und stark beanspruchte Bauteile. Die Trocknung der massiven Lehmwand erfolgt zwar langsam, jedoch schneller als eine Ziegelwand oder Betonwand. Nach drei bis vier Wochen fühlt sich eine Stampfwand bei trockenem Wetter und ausreichender Luftfeuchtigkeit trocken an. Zu diesem Zeitpunkt hat sie annähernd die Gleichgewichtsfeuchte von 2 bis 8% erreicht und kann dann verputzt werden. Meist wird dies mit dem gleichen Material in einer Stärke von 1,5 bis 4cm verputzt und um Schwindrisse zu vermeiden wird Stroh beigemischt. Ist die Stampflehmwand vollständig ausgetrocknet, können die Lasten aufgebracht werden.⁴¹

Gestampfter Lehm ist sehr massiv. Sein Gewicht beträgt etwa 1,8 bis 2,2 t pro Kubikmeter. Es entstehen somit große Lehmbauten, die ähnliche Dichten wie die des Betons aufweisen. Nach der Austrocknung entsteht ein kompaktes Gefüge mit einer guten Wärmespeicherfähigkeit und einer hohen Druckfestigkeit. Dadurch eignet er sich besonders gut für den tragenden Lehm-bau.

„Die ästhetische Wirkung einer Stampflehmwand beruht auf den vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten seiner Oberflächen und der Schwere der Masse, die Erdverbundenheit und Beständigkeit ausstrahlt.“⁴²



Abb. 60: Bau von Lehmhäusern



Abb. 61: Aufbau einer Stampflehmwand

⁴¹ Schneider/Schwimann/Bruckner: Lehm-bau für Architekten und Ingenieure, Düsseldorf:Werner 1996, S 9.

⁴² Mazhar, Niel: Diplomarbeit, Ein Wohnbau für die Sekem Farm in Ägypten, Wien 2007, S58.

02.21 Wellerbau

Beim Wellerbau erfolgt der Wandaufbau durch freihändiges, schichtweises Aufsetzen von Strohlehm, den so genannten Sätzen, mit Heugabeln und anschließendes Stampfen oder Festschlagen. Dies ist das einfachste Lehmbauverfahren, denn im Gegensatz zur Stampflehmbauweise ist die Verarbeitung von Wellerlehm zu Wandkonstruktionen nicht schalungsgebunden. Die Arbeitsweise erfordert keinerlei Schalungen, Gerüste oder Geräte. Es wird hier eine feuchtplastische Wellermasse aus Lehm mit viel Langstroh in Sätzen mit 80 bis 90cm mit senkrechten Seitenflächen aufgebaut. Diese Lage wird dann nach einigen Tagen Trockenzeit mit einem geschärften Spaten fluchtgerecht zu den endgültigen Wanddicken abgestochen. Dann erfolgt eine weitere Trockenzeit von mehreren Tagen. Erst danach wird der nächste Satz Strohlehm in gleicher Weise aufgebracht. Die Arbeitszeit ist verglichen mit anderen Techniken schneller, jedoch der Arbeitsfortschritt ist langsam, da jeder Satz zwei Trockenzeiten erfordert. Die Dicke der Wände muss mindestens 40 cm betragen, es wurden aber auch 80 bis 100cm dicke Wände ausgeführt. Die endgültige Durchtrocknung dieser Wände dauert bei ungünstiger Witterung etwa zwei Monate. Maximal sind zwei Geschosse mittels dieser Bauweise zu errichten (Abb.62).

Wichtig ist, dass man die Wände bei allen Lehmbauarten vor aufsteigende Bodenfeuchtigkeit geschützt werden muss. Somit darf eine Lehmwand erst 50 cm über dem Gelände anfangen, daher muss der Sockelbereich 50 cm über dem Boden geplant werden und aus Beton oder Naturstein geschüttet oder gemauert sein.

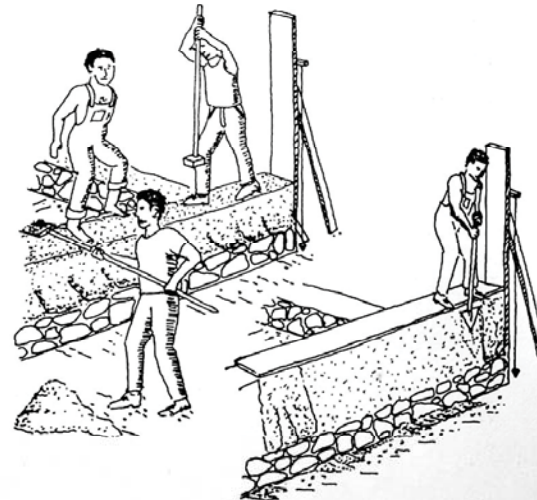


Abb. 62: Lehmwellerbau

02.22 Die Technik der freien Wölbung

In Mitteleuropa tauchen gemauerte Gewölbe als Dachabschluss fast nur bei den Sakralbauten auf. Im Vergleich dazu werden sie in den südlichen Ländern Europas und Asiens sowie in Afrika viel häufiger verwendet. So findet man sie auch bei Wohn-, Geschäfts- und Sozialbauten. Diese Bauformen haben einen großen Vorteil in den trockenen heißen Klimazonen und vor allem in Gebieten mit starken Temperaturschwankungen, da aufgrund der relativ großen Raumhöhe, die sich in Mitte ergibt, sich die leichte, warme Luft sammelt und dort durch die Öffnungen abgeführt wird. Weiteres haben Gewölbe im Verhältnis zum umschlossenen Volumen eine kleinere Oberfläche als entsprechende kubische Bauten gleichen Inhalts und sich somit weniger stark durch die Sonne aufheizen lassen. Damit benötigen sie auch zur Herstellung weniger Baumaterial. Obwohl Flachdächer aus Lehm seit Jahrhunderten zur traditionellen ländlichen Architektur in den heißen Gebieten gehört, werden gemauerte Gewölbekonstruktionen in fast allen Entwicklungsländern bevorzugt, da sie billiger sind als übliche Mauerwerkskonstruktionen mit Flachdächern oder flachgeneigten Dächern. Aber nicht nur in wärmeren Gebieten werden Gewölbearten bevorzugt. So bietet dies auch im Klima Mitteleuropas Vorteile an. Ein Gebäude, das nur aus einer Kuppel besteht hat gegenüber einem kubischen Haus mehrere Vorteile, denn es hat, wie oben bereits erwähnt, bei gleichem Volumen eine kleinere Oberfläche. Somit sind die zu heizenden Volumen und die wärmeabgebenden Hüllflächen kleiner. In vielen Regionen, wo Holz als Baumaterial fehlt, wurden aus luftgetrockneten Lehmsteinen Gewölbekonstruktionen entwickelt, die ohne Holzbalken und ohne Schalung erstellt worden sind.⁴³



Abb. 63: Gewölbekonstruktionen der „Monastery of St. Simeo“

⁴³ Minke, Gernot: Lehm-bau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995³, S227.

02.23 zur Geometrie, Statik von Gewölben

Es gibt unterschiedliche Arten von Gewölbekonstruktionen. Allgemein versteht man unter einem Gewölbe ein flächiges, gekrümmtes Gebilde, das zum oberen Abschluss eines Raumes dient und Druckkräfte übertragen kann. Sie werden in der Regel aus Ziegeln oder flachen Steinen gemauert, wobei die Fugen senkrecht zur Gewölbeoberfläche stehen. Beim Bau von Gewölben ist das Hauptproblem die Ableitung der Gewölbekräfte in die Fundamente. Jedes Gewölbe hat an seinen Fußpunkten schräg nach unten verlaufende Schubkräfte. Diese können in Horizontal- und Vertikalkomponente zerlegt werden. Die Größe der Horizontalkraft hängt von der Größe der Schubkraft und von deren Neigungswinkel ab. Die Horizontalkraft ist also geringer und die Fundamentausbildung ist umso einfacher, je steiler die Kraft in das Fundament geleitet wird. So gilt die Faustregel:

„Die resultierende Kraft aus Gewölbeschub und Wandlast muss im inneren Drittel der Sockelsohle und der Fundamentsohle ankommen, dh. die Außmittigkeit darf nicht mehr als 1/6 der Breite betragen (Abb.64-65).“⁴⁴

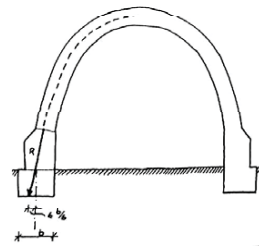


Abb. 64: Ableitung der resultierenden Schubkraft in das Fundament

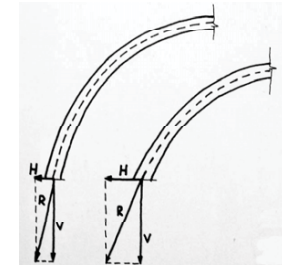


Abb. 65: Zerlegung der Kräfte am Auflager

⁴⁴Minke, Gernot: Lehm-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995⁵, S230.

Da dies jedoch ein sehr breites und teures Fundament ergeben würde, kann der Architekt zusätzlich konstruktive Maßnahmen planen, wie es in der Abbildung sechsundsechzig zu sehen ist.

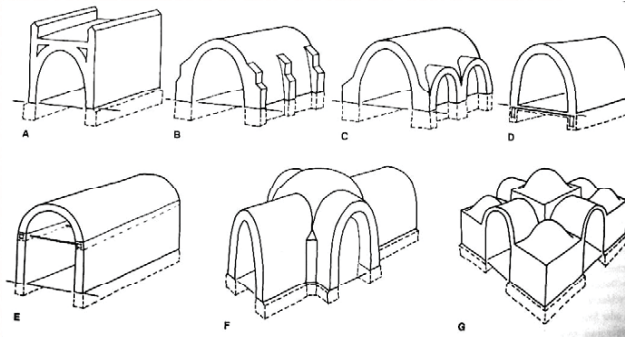


Abb. 66: Konstruktive Maßnahmen zur Ableitung der Schubkräfte bei Gewölben

A: Durch die Auflastung verringert sich hier die Neigung der resultierenden Kraft

B: Strebe Pfeiler leiten die Kräfte in partiell verbreiterte Fundamente, wobei zu beachten ist, dass der Abstand der Strebe Pfeiler nicht zu groß ist.

C: Bogenförmige Verbindung der Stützpfeiler

D: Die Aufnahme der entstehenden Horizontalkräfte erfolgt durch zugbeanspruchte Elemente im Fußboden

E: Hier verlaufen einzelne Zugbänder durch den Raum, wobei aber zwischen den Zugbändern oberhalb der senkrechten Wand ein biegebeanspruchbares Element aus Holz, Stahl oder Stahlbeton vorhanden sein muss.

F und G: Unterschiedliche Konstruktionen um den Gewölbeschub der zentralen Kuppel durch niedrigere seitliche Gewölbe abzuleiten, die auch öfters bei Hassan Fathy angewendet wurden.

Die Form eines Gewölbes soll so ausgebildet sein, dass im Gewölbe nahezu ausschließlich Druckkräfte entstehen, da ein Lehmsteingewölbe nur geringe Zugkräfte aufnehmen kann. Dies ist bei einem Tonnengewölbe, der nur durch sein Eigengewicht belastet ist, der Fall, wenn der Querschnitt die Form der „umgekehrten Kettenlinie“ aufweist. Denn eine Kette bildet unter dem Einfluss ihres Eigengewichts eine ideale Hängeform, wodurch lediglich Zugkräfte entstehen. Würde man diese Linie umklappen, dass eine „stehende“ Kurve entsteht, so erhält man die „Stützzlinie“ und somit eine ideale Form für ein Tonnengewölbe. Je nach Verhältnis von Höhe zu Spannweite entstehen unterschiedliche Schubkräfte (Abb.67-68).⁴⁵

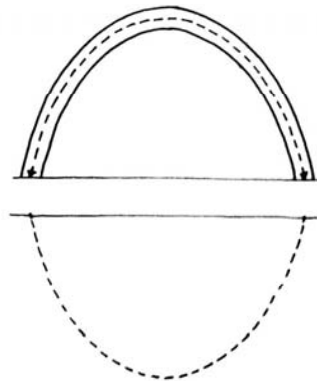


Abb. 67: Hängelinie und Stützzlinie für Tonnengewölbe unter Eigenlast

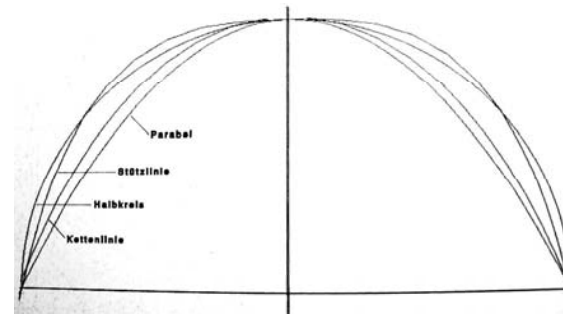
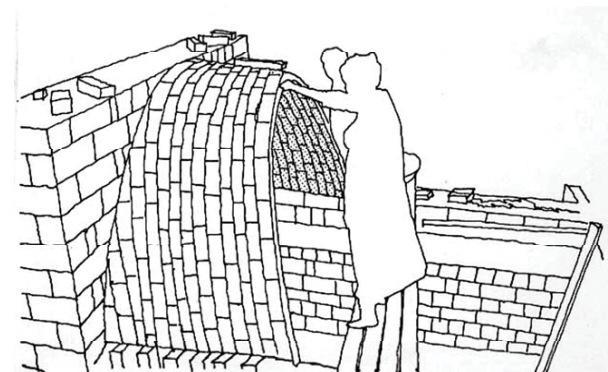
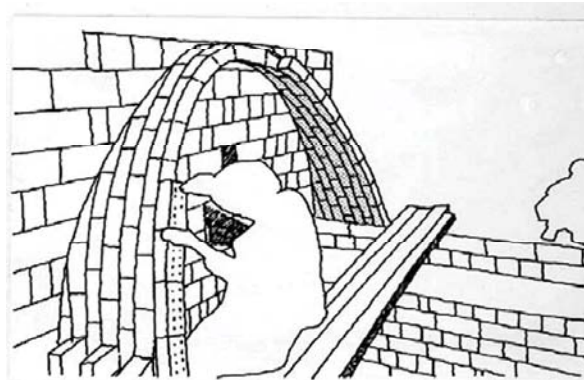
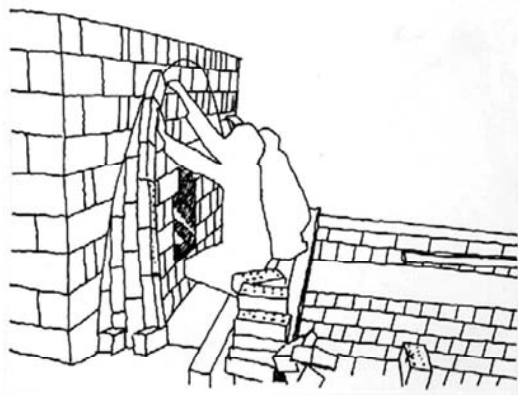


Abb. 68: Verlauf der Stützzlinie im Vergleich zum Halbkreis und zur Parabel

⁴⁵Minke, Gernot: Lehm-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995⁵, S233.



02.24 Nubisches Gewölbe

Das nubische Gewölbe bezeichnet eine sehr alte Baumethode, bei der Gewölbedächer aus Lehm ohne Schalung hergestellt werden und seit Jahrtausenden in Nubien, der oberen Nilregion, verwendet wird. Es ist also eine Gewölbebauweise im Lehm- und Ziegelbau, die sich ohne Stützsystem aufbauen lässt. Hassan Fathy hat den Begriff bekannt gemacht. Sein Leben lang war er auf der Suche nach traditionellen Bautechniken, die es ermöglichten, mit geringsten Mitteln Häuser für die Armen zu bauen. Für diese Bauweise werden keine weiteren Materialien wie Blech oder Holz benutzt, was somit ein großer Vorteil für die ärmeren Bevölkerungsschichten ist. Die Bauten entstehen gewissermaßen aus dem Boden, der sie hervorbringt, in einer einfachen Bauweise, die man leicht umsetzen kann. Die ungebrannten oder gebrannten Lehmziegel werden in schrägen Lagen aufeinander geschichtet (Abb. 69-70).

Seit der Antike haben die Völker von Ägypten, aber auch andere Regionen, das Problem der Überdachung eher durch die geometrische Form, als durch die Widerstandsfähigkeit des Materials gelöst. Da die Mauern im Normalfall nur Druckkräften ausgesetzt sind, die der Lehmziegel leicht aufnimmt und das Dach hingegen Biege- und Zugspannungen aufnehmen muss, die Materialien aus Holz, Stahlbeton oder Stahl erfordern. So bauten sie sphärische Kuppeln und parabolische Tonnengewölbe im Profil von Kettenlinien. Wie bereits oben erwähnt werden die Kräfte dadurch soweit abgemindert, dass die Schalen nur Druckkräften ausgesetzt sind. Damit kann der Lehmziegel sowohl für das Dach als auch für die Wände verwendet werden. Diese Menschen haben Techniken entwickelt, eine Kuppel oder eine Tonne zu erstellen ohne Verwendung von Bogen oder hölzerne Unterstellung.⁴⁶

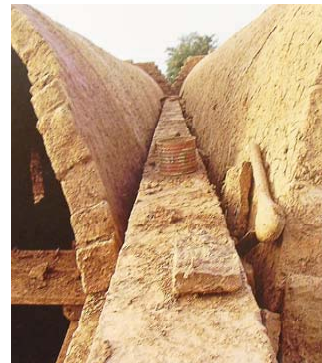


Abb. 69: Medizinisches Zentrum in N'Golofala, 2007-08

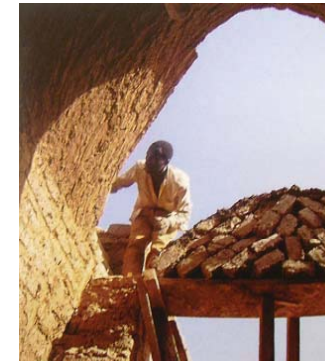


Abb. 70: Schule in Di Koba, 2008-09

⁴⁶ Fathy, Hassan: Ausstellungskatalog, Eigenverlag, Wien 1980, S.6.

02.25 Nubische Tonnenbauweise

Die „nubische Tonnenbauweise“ hat in Oberägypten schon seit Jahrtausenden Tradition. Hier werden flache Lehmsteine in geneigten Bögen vermauert, ohne dass ein Stützgerüst oder eine Schalung während des Errichtens der Bögen benötigt wird. Die Abbildung einundsiebzig zeigt ein ungefähr 3200 Jahre altes Gewölbe im Totentempel Ramses II bei Luxor. Die Ziegel haben stets eine Breite von 15cm, eine Länge von 25cm und eine Dicke von 5 bis 6cm. Dies zeigt, dass sie bei relativ geringem Gewicht eine große Mörtelfläche besitzen um somit das Abrutschen der Steine in der Schräglänge zu verhindern. Wichtig ist, dass die Bögen schräg angeordnet sind, in einem Winkel von ungefähr 65 bis 70° zur Horizontalen, da sonst die Steine ausrutschen würden.



Abb. 71: Vorratsräume des Totentempel Ramses II, 1200 v.Chr.

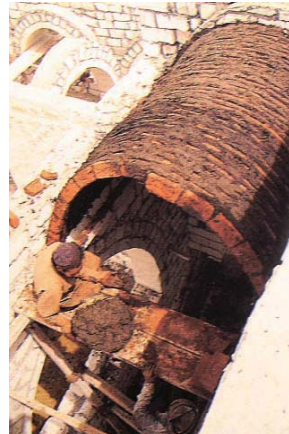


Abb. 72: Nubische Maurer bei der Errichtung eines Gewölbes für Hassan Fathys Greiss Haus



Abb. 73: Pavillon , Riad Haus

Desweiteren benötigt das nubische Tonnengewölbe eine oder zwei senkrechte „Anlehnwände“, an die man die schräg gemauerten Bögen anlehnen kann. Möglich ist auch ein mittlerer „Anlehn-Bogen“, der die Form des Gewölbequerschnitts besitzt (Abb.74).⁴⁷

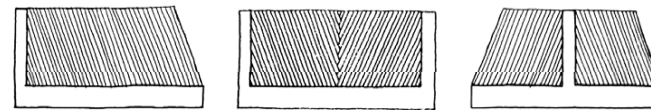


Abb. 74: Seitenansichten der Nubischen Tonnengewölbe mit Anlehnwänden und mit Anlehnbogen



Abb. 75: Die Mauerer stellen die Kontur der Parabel an der Wand mit Lehm Mörtel dar.

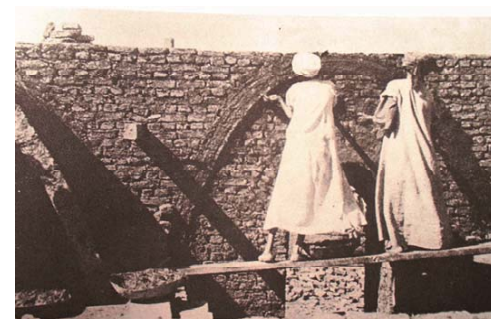


Abb. 76: Dann wird der Mörtel mit einer Drechsel zurechtgeschnitten.

⁴⁷Minke, Gernot: Lehm-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995⁵, S238.



Abb. 77 (links):
Der erste Ziegel wird gegen
Ende der Wand angelegt.



Abb. 78 (rechts):
Der zweite Lauf beginnt mit einem
Halb-Ziegel.



Abb. 79 (links):
Ein dritter Ziegel beendet den zweiten
Lauf.



Abb. 80 (rechts):
Danach beginnt der dritte Lauf.



Abb. 81 (links):
Immer mehr Ziegel werden für den
dritten Lauf verwendet

Abb. 82 (rechts):
Hier sieht man die Vollendung des
vierten Laufes



Abb. 83 (links):
Hier sieht man die Vollendung
des fünften Laufes

Abb. 84(rechts):
Der erste geneigte Ring ist beendet



Abb. 85: Die Maurer legen trockene Füllkörper in die Zwischenräume



Abb. 86: Die geneigten Wölbungen zeigen den Erfolg des Kurses



Abb. 87: Trainingsbereich für die Maurer

02.26 Nubische Kuppelbauweise

Ebenfalls wie die „Nubische Tonnenbauweise“ ist die „Nubische Kuppelbauweise“ in Oberägypten schon seit Jahrtausenden bekannt. Hier werden horizontale Lehmsteine mit einer beweglichen Hilfslehre verlegt. Dabei liegen die Steine verkantet. Da sie sich jeweils am Nachbarstein abstützen und der letzte Stein durch die Lehre gehalten wird, können sie beim Vermauern nicht abrutschen. Diese Bauweise ermöglicht die Kuppel mit ihrem ganzen Gewicht und Seitenschub ohne Stützen frei zu wölben und in den Raumkubus einzufügen. Bei dieser Technik müssen aus geometrischen Gründen immer wieder keilförmige Steine verwendet werden (Abb.88-89). Die Herstellung dieser keilförmigen Steine ist jedoch sehr zeitaufwendig. Deshalb wurden die meisten Kuppeln dieser Art in einer vereinfachten Bauweise ausgeführt. So wurden die Steine nicht mehr verdreht sondern rechtwinkelig zum Kreisbogen verlegt (Abb.90). Mittels der „Nubischen Kuppelbauweise“ kann man nur kugelförmige Kuppeln herstellen, deren Form einer Halbkugel oder einem kleineren Kugelabschnitt entspricht. Bei dieser Form treten im unteren Randbereich Ringzugkräfte auf. Um die Standsicherheit der Kuppeln zu gewährleisten, müssen dort bei größeren Spannweiten Stahlbänder, Stahlbetonringanker oder andere stabilisierende Elemente angebracht werden, da ansonsten die Kuppel einstürzen würde.



Abb. 91: Fuad Riyad Haus von Hassan Fathy

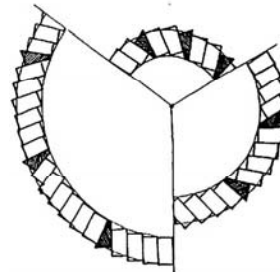


Abb. 88: Herstellung einer nubischen Kuppel mittels einer beweglichen Hilfslehre

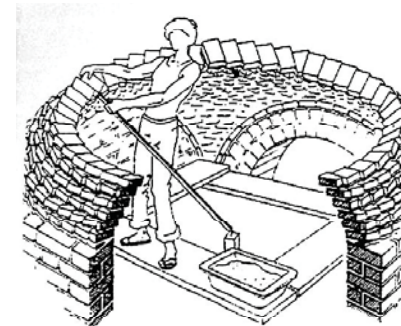


Abb. 89: Aufsicht von drei Ringen der Kuppel in verschiedenen Höhen

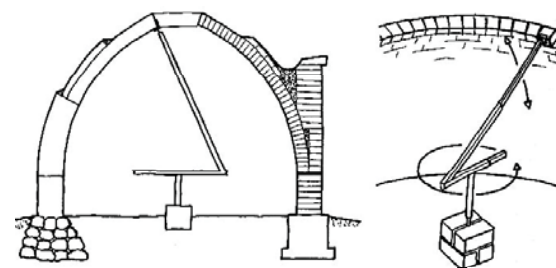


Abb.90: Exzentrische Stab-Lehre für die abgewandelte Nubische Kuppelbauweise



Abb. 92: Nubische Maurer bei der Errichtung einer Nubischen Kuppel



Abb. 93: Detailsicht bei der Errichtung der Nubischen Kuppel



02.27 Der Architekt Hassan Fathy

Hassan Fathy war einer der bedeutendsten ägyptischen Architekten des 20. Jahrhunderts, der das Bauen mit der Natur wie Ton, Sand und Lehm bevorzugte. Schon als Kind hatte er eine Liebe für seine Heimat und wünschte sich Häuser für Bauern, die sogenannten „Fellachen“ (das Wort kommt vom arabischen „fallah“ und bezeichnet die bäuerliche, Ackerbau betreibende Bevölkerung Ägyptens) bzw. für die ärmere Bevölkerungsschicht zu bauen, die ihre Lebensweise beschreiben und ihm gleichzeitig gefallen. Zwar hatte er keinerlei Erfahrung mit dem Landleben, aber ein Bild davon. Seine ersten Besuche in den ägyptischen Dörfern weckten in ihm ein soziales Engagement und ließen die Ideen reifen. Er entwickelte seine eigene Architektur indem er die Formen der islamischen Baukunst mit der traditionellen und preiswerten Lehmbautechnik verbindet.

Als ein leidenschaftlicher Baumeister entwickelte er eine Architektur für die Armen. Er wendete sich nicht nur der islamischen Architektur, sondern auch dem Lehmbau und der Bauphysik.

„Sein Name steht heute für die Wiedergeburt der Tradition, für die Erneuerung des Lehmbaus sowie für die Rückkehr zu den natürlichen Energien.“⁴⁸

*„If u were given a million pounds, what would u do with them?
A question they were always asking us when we were young, one
that would start our imagination roaming and set us daydreaming.
I had two possible answers: one, to buy a yacht, hire an orchestra,
and sail round the world with my friends listening to Bach,
Schumann, and Brahms; the other, to build a village where the
fellahen would follow the way of life that I would like them to.“*

-Zitat: Hassan Fathy



Abb.94: Hassan Fathy

*„...die Natur unserer überkommenen Architektur zu realisieren.
Wer das tut, der bekommt den reichen Lohn der gesammelten
Erfahrung dessen zu spüren, was unsere Ahnen uns hinterlassen
haben.“⁴⁹*

-Zitat: Hassan Fathy

⁴⁸ Häuser, Magazin für internationales Wohnen: U.S.A: Gullivers bunte Bauklötze in der Wüste, Nr.2, Hamburg 1991,S62.

⁴⁹ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987, S30.

02.28 Werke von Hassan Fathy – Haus Hamid Said

Das Haus für Hamid Said in Kairo ist sein erstes Projekt, welche aus Lehmziegel gebaut wurde. Die erste Bauphase erfolgte im Jahre 1942, wo ein einfaches Studio und ein Schlafbereich für den Schauspieler und seine Frau entstanden. Dies war zunächst als ein Wochenendhaus gedacht und wurde dann im Jahre 1945 erweitert. Das Haus besitzt einen überwölbten Hauptraum, dass auf einer Seite hin offen war und als Loggia diente. Weiteres besitzt es eine Kuppel, dass auf Schildbögen ruhte, eine Bautechnik durch die die quadratischen Stützwände mit der kreisförmigen Basis einer Kuppel durch ein acht-, dann sechszehnteilige Übergangszone unterteilt werden. Das Gebäude wird mittels überwölbten Iwans ergänzt. Bei der Erweiterung des Hauses entstanden überwölbte und überkuppelte Räume, die einen Innenhof umschließen. Bei diesem Werk griff Hassan Fathy auf den traditionellen Ursprung ägyptischer Architektur zurück (Abb. 95-97).⁵⁰

„Architecture is still one of the most traditional arts. A work of architectures is meant to be used, its form is largely determined by precedent, and it is set before the public where they must look at it every day. The architect should respect the work of his predecessors and the public sensibility by not using his architecture as a medium of personal advertisement. Indeed, no architect can avoid using the work of earlier architects; however hard he strains after originality, by far the larger part of his work will be in some tradition or other.“

51

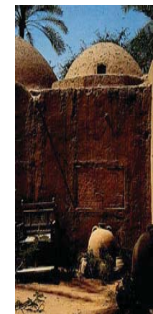


Abb. 95: Innenhof des Said Haus

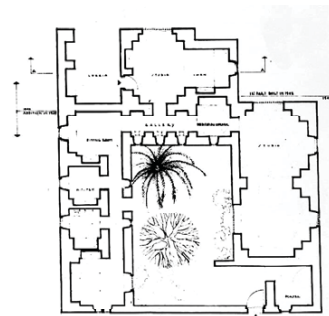


Abb. 96: Grundriss

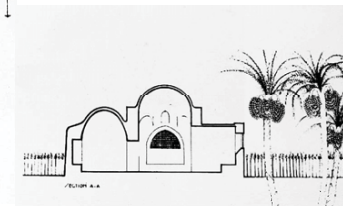


Abb. 97: Schnitt

⁵⁰Steele, James: The Hassan Fathy Collection, A Catalogue of Visual Documents at The Aga Khan Award for Architecture, Bern 1989, S14.

⁵¹Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S 25

02.29 Haus Hamdi Seif Al-Nasr

Das Haus Nasr entstand im Jahre 1945 und ist aus überwölbten sowie überkuppelten Räumen, ähnlich wie das Haus Said, zusammengesetzt. Jedoch ist hier im Unterschied zum Said Haus der Ausdruck der Spannstruktur durch Brüstungswände verdeckt (Abb. 98-100).

Die Kuppel über dem Hauptwohnraum erhebt sich sichtbar über die sich am Boden festklammernde periphere Masse. Ein äußerer Lichthof ist vorgesehen, der auf einer Seite mit Arkaden begrenzt ist; es fehlt jedoch der vollständig umschlossene Innenhof, der gewöhnlich charakteristisch für Fathys Entwürfe ist. Gleichfalls untypisch sind Balken oder Stürze anstatt Bögen.⁵²

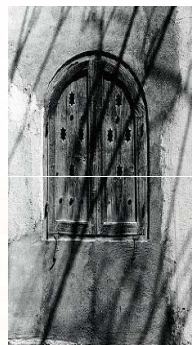


Abb. 99: Außenaufnahme des Fensters

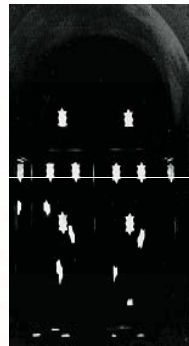


Abb.100: Innenaufnahme des Fensters



Abb. 98: Ostfassade des Nasr Hauses

⁵² ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88,Aachen 1987, S50.

02.30 Landhaus bei Sidi Krier

Das Privathaus in Sidi Krier entstand im Jahre 1971. Im Vergleich zu seinen frühen Häusern, wo er Lehmziegel benutzte, verwendete er hier, wie bei den weiteren Bauten seiner späteren Phase, Steine und gebrannte Ziegeln. Fathy war von der Idee besessen, durch mathematische Funktionen den menschlichen Maßstab in die Architektur einzuführen. Er war vom Archäologen de Lubicz beeinflusst, der behauptete, dass die Pharaonen bewusst menschliche Proportionen in Beziehung zur Planform setzten. So begann Fathy die im Plan der Räume, der Höhe, der Wände, der Türen und der Tiefen der Intervalle auf die Faktoren π (3.14) und ϕ (1.61) sowie auf ein Vielfaches der pharaonischen Elle (46cm) zurückzuführen und somit jede räumliche Einheit mit einer wohlzentrierten schwingenden Dynamik zu erfüllen. Seine späten Häuser bestehen aus einem Innenhof, einem *Qa'a* (Hauptraum), Schlafräumen und Nutzräumen (Abb.101-104).⁵³



Abb.103: Korridor

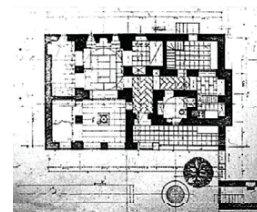


Abb.101: Grundriss

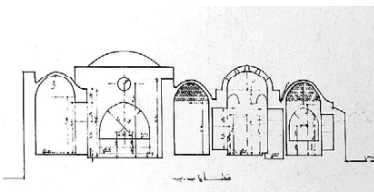


Abb.102: Schnitt



Abb.104: Landhaus bei Sidi Krier

⁵³ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88, Aachen 1987, S52.

02.31 Haus Samy

Das Haus Samy entstand im Jahre 1979 und wurde ebenfalls aus dem Material der Gegend gebaut, nämlich aus Kalksteinen mit Lehm vermörtelt. Als Kontrast zum üppigen Grün der Dattelpalme wurden die Wände mit Lehm verputzt und weiß gekalkt. Der Qa'a bildet die Mitte des Hauses, der mit einem flachen Wasserbecken mit Rosenblüten ausgestattet ist. An den Qa'a schließen sich drei Iwane an. Einer von denen grenzt an den Hof und ist durch eine Masharbiya mit dem Hof verbunden. Einerseits besteht der Hof aus einem offenen Teil mit Brunnen. Andererseits besitzt er einen überdeckten Teil aus einer „Dattelpalmenkuppel“, die aus Holzlatten besteht (Abb.105). Hassan Fathy schaffte hier eine schattenspendende Überdachung, die in der Struktur die hausnahen Dattelpalmenwedel zeigt.⁵⁴



Abb. 105: Dattelpalmenkuppel im Innenhof



⁵⁴ ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau: Hassan Fathy, Architektur aus 1001 Stein, Nr.88, Aachen 1987, S54.

02.32 Adel Fahmy

Viele betrachten den ägyptischen Architekten Adel Fahmy (Abb.108) als ein Nachfolger von Hassan Fathy und als Hauptvertreter der Lehmziegel Bauweise in Ägypten. Er ist der Meinung, dass der Lehm ein menschliches Gefühl bietet und dass die Erde und die Seele zusammen gehören („*sole and soul belong together*“). Es war ihm ebenfalls wichtig die traditionellen Bauweisen wiederzubeleben. Der Lehmbau steht für die Entwicklungsländer für Energiesparen, Ökonomie sowie Wiederbelebung der traditionellen Bauweisen. Er ist der Ansicht, dass der Lehmbau weiter modernisiert werden kann, so dass die Bedürfnisse der heutigen Menschen abgedeckt werden können. Seiner Meinung nach sollen sich Universitäten und Forschungsinstitute mit Lehmbau beschäftigen, denn dann würde man selten Häuser aus Stahlbeton bauen (Abb.106-107).⁵⁵



Abb.108: Adel Fahmy



Abb. 106: Detailaufnahme einer Kuppel von Adel Fahmy

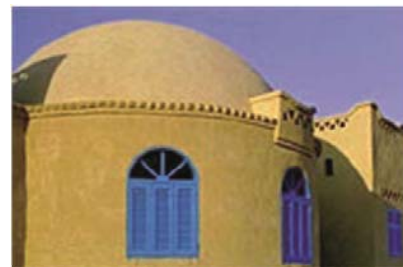


Abb.107: Lake Quaroun, Fayoum, Ägypten

⁵⁵ Dribika, Amjed: Diplomarbeit, Oea Resort, Mai 2008, S38.

02.33 Vegetation und Flora in Ägypten

In Ägypten findet man etwa siebzig verschiedene Pflanzenarten. Die natürliche Vegetation ist wegen der geringen Niederschläge wie auch der intensiven agrarischen Nutzung des Nildelta stark eingeschränkt. Vegetationsreich sind in Ägypten vor allem Nildelta, Niltal und Oasen. Die Wüste ist fast völlig vegetationslos, vereinzelt wachsen Tamarisken, Akazien und Dornsträucher. In der Wüstensteppe findet man auch Hartgräser. Die Dattelpalme ist die am häufigsten vertretene Baumart. Typische Pflanzen, die es am Nildelta und am Nilufer gibt, sind die Maulbeerfeige, der Johannisbrotbaum, die Dattelpalme, die Nilakazie, das Bambusrohr und der Lotusbaum. Die berühmten Papyrusstauden, aus denen der wichtigste Beschreibstoff des Altertums hergestellt wurde, sind kaum noch vorhanden. Sie werden heute benötigt und kommen nur noch in Restbeständen vor. Zu den wenigen einheimischen Bäumen zählen ferner Maulbeerbäume, Tamarisken, Akazien und Johannisbrotbäume. Daneben wurden Baumarten eingeführt, die ursprünglich nicht in Ägypten beheimatet waren. Dazu gehören Zypressen, Ulmen, Eukalyptus, Mimosen und verschiedene Obstbäume. Auf den Schwemmlandböden insbesondere des Deltagebiets gedeiht eine vielfältige Pflanzenwelt, die auch Weinreben, verschiedene Gemüse und Blumen (z. B. Lotos, Jasmin, Rosen) umfasst.⁵⁶



Abb.109: Tamarisken



Abb.110: Dattelpalme



Abb.111: Johannisbrotbaum

⁵⁶ http://www.voyagesphotosmanu.com/fauna_flora_egyptens.html.



02.34 Gartenkunst im Alten Ägypten

Die Gartenkunst im Alten Ägypten war religiös geprägt und spielte eine wichtige Rolle. Alle Gartenkulturen des Landes mit größeren Baumanpflanzungen oder ausdauernden Pflanzen konnten nur auf Hügeln und den Talrändern entstehen, die von den jährlichen Überschwemmungen nicht erreicht wurden. Damit waren diese Pflanzen von Anfang an auf eine sorgsame Pflege durch den Menschen angewiesen. Ein verzweigtes Netz von Kanälen, Dämmen und Schleusen brachte das Nilwasser zu diesen höher gelegenen Landesteilen. Den Ägyptern waren Bäume heilig. Jeder der Tempel hatte seinen eigenen heiligen Hain. Streng gleichförmig angelegte Baumgärten waren die ersten Gartenanlagen. Wandmalereien zeigen, dass die Gartenanlagen des Mittleren und Neuen Ägyptischen Reiches um eine künstlich geschaffenen Wasseranlagen angelegt waren. Streng symmetrisch gliederten sich Weingärten, Gemüseärten, Blumenbeet, weitere Teiche, offene Gartenpavillons und Allee an, die in einem Viereck lagen, das von hohen Mauern begrenzt wurde. Nicht nur die Tempel und Paläste waren von Gartenanlagen umgeben. Jedem Ägypter lag daran, sein Haus mit schattenspendenden Bäumen zu umgeben, um sich in ihrem Schatten zu ergötzen und am Dufte der Blumen zu erfreuen.⁵⁷



Abb.112: Haus und Garten des Meketre

⁵⁷<http://de.wikipedia.org>



Abb.113: Garten am Flussufer des Nils mitten in Kairo



Abb.114: Blick über die Gärten der Oase Bahariya

02.35 Dattelpalme

Dattelpalme sind die mit Abstand wichtigste Pflanze für die Menschen im afrikanischen und arabischen Wüstenregionen. Sie sind in der gesamten Sahara bis zur Sahelzone an bewässerten Flächen und Oasen verbreitet. Sie werden bis zu 30m hoch und die Früchte bringen einen großen Ertrag. In der traditionellen Architektur wird das Stammholz zum Bauen und die Palmwedel für Dächer verwendet. Desweiteren werden daraus auch Alltagsgegenstände hergestellt. Dattelpalmen müssen bewässert werden oder innerhalb der obersten 5m des Bodens mit ihren Wurzeln auf das Wasser stoßen (Abb. 115).



Abb.115: Dattelpalme

02.36 Die Akazie

Akazien sind Bäume, die sich in verschiedenster Weise bestens an die Bedingungen der Wüste angepasst haben. Sie treiben ihre Wurzel bis zu 40m in den Boden um an die tiefe Grundwasserschichten zu gelangen und sind somit unabhängig von Regenwasser. Akazien sieht man öfters in einer Linie. Dies deutet oft auf einen Grundwasserlauf hin. Sie wachsen relativ langsam und werden bis zu 15m hoch. Sie bilden ein hartes Holz, welches als Feuerholz gern verwendet wird, da es lange und heiß brennt. Die Dornen der Akazien sind zäh und spitz und werden bis zu 6 cm lang (Abb. 116).



Abb.116: Akazie

02.37 Johannisbrotbaum

Der Johannisbrotbaum ist ein äußerst hitze- und trockenresistenter Baum, der eine Höhe bis zu 20 m erreicht. Der Baum wächst auf kalkhaltigen Böden (auch sandigem, wasserdurchlässigem Lehm) und toleriert einen hohen Salzgehalt. Er wächst auf marginalen Standorten ohne Bewässerung und ohne Pestizide. Daher ist er für den biologischen Anbau bestens geeignet. Der Stamm ist kräftig und die Äste sind gespreizt, wodurch er mit seiner ausladenden, halbkugelförmigen Krone einen Umkreis von 12 bis 15 m Durchmesser beschatten kann.⁵⁸



Abb.117: Johannisbrotbaum

⁵⁸<http://de.wikipedia.org>

3_projekt

klimagerechtes wohnen in kairo

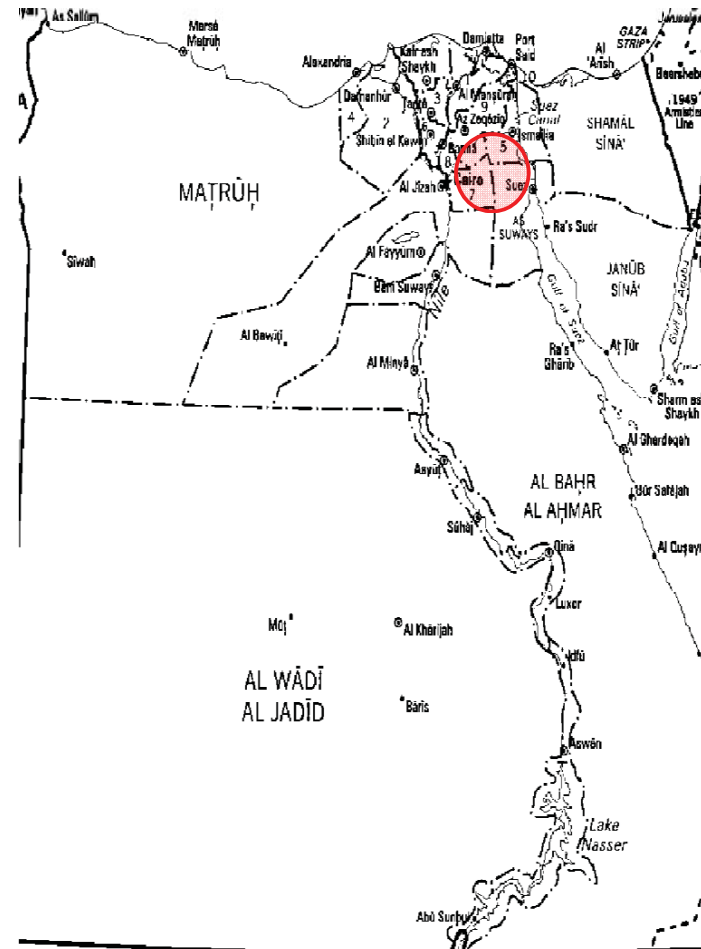
PALMA CITY

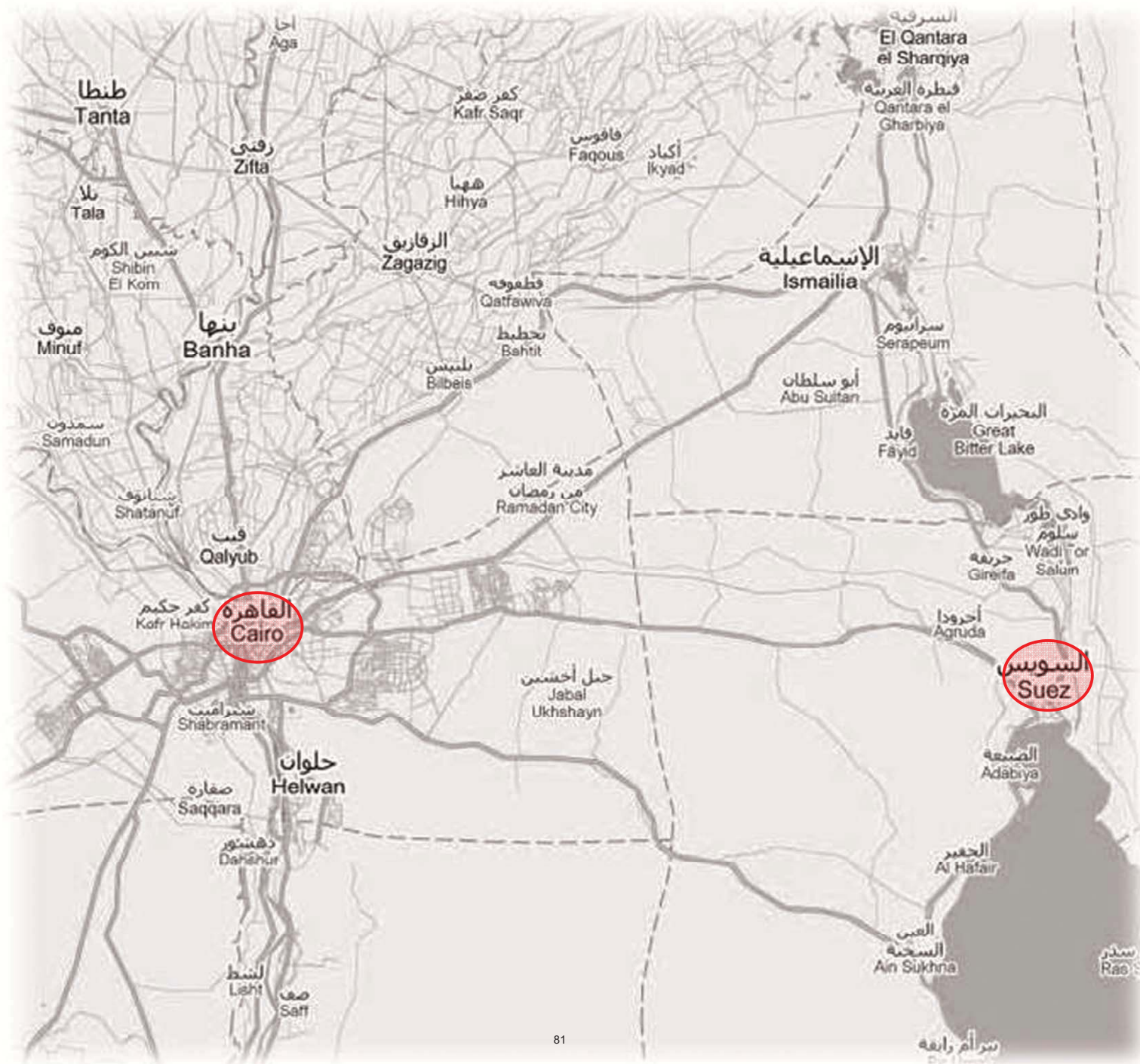


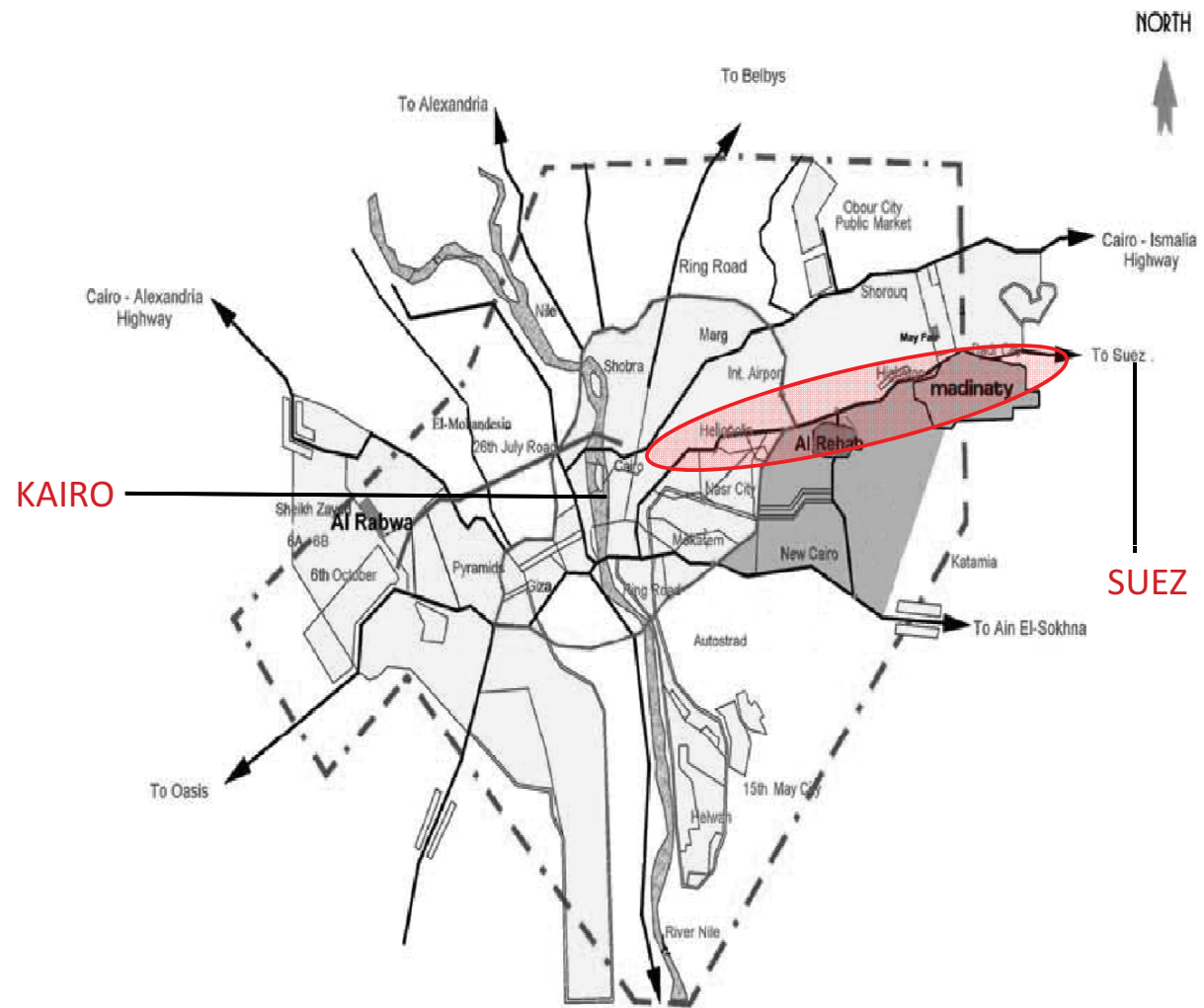


03.1 Der Bauplatz

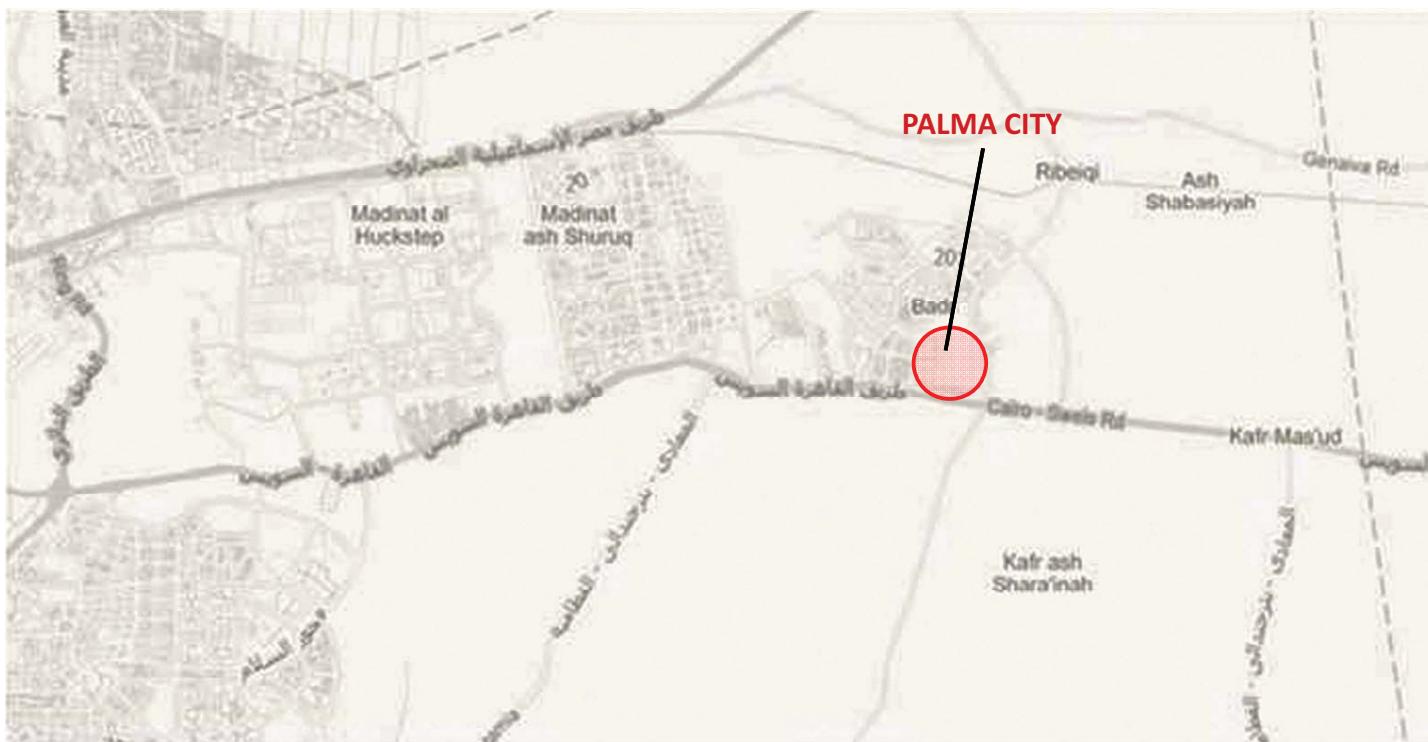
In Ägypten entstanden in den letzten Jahren zahlreiche neue Wohnorte entlang der Suez Strasse. Das Projekt Palma City soll ebenfalls entlang der Suez Strasse entstehen, welches ungefähr eine halbe Stunde von Kairo entfernt ist. Lehm mit seinen besonderen Eigenschaften soll dort als Material verwendet werden. Das Projekt soll auf moderner Basis entstehen, jedoch werden traditionelle Elemente wie Brunnen, Mashrabiya und Mastaba verwendet. Entlang den Hauptachsen des Projektes findet man die Einkaufsstrasse, den Bazar. Dadurch sollen die Bewohner des Ortes von den Geschäften ungestört bleiben. Die Wohnhäuser sowie die Familienhäuser gruppieren um einen Hof mit einem Brunnen. Die Palmen, die in Ägypten als Pflanzenart eine große Bedeutung haben, werden im Projekt eingesetzt und dienen als Lärm-, Sicht-, sowie Sonnenschutz. Da man in Kairo fast selten Grünbereiche findet, wurde in dem Projekt großen Wert darauf gelegt.











03.2 Interviews



Traditional or modern architecture??

I prefer mix the modern Architecture to enhance the traditional since both are having positives & negatives. I believe that what's modern today will be traditional tomorrow.

modern architecture

modern



What is your
opinion about court
house
architecture?

Have no clue or
information.

court house
architecture ist in
warmen ländern die
beste möglichkeit für
ein gutes klima, wenn
man das ganze noch
modern gestalten kann,
wäre es perfekt

I like having a garden
with lots of flowers
surrounded by cordon of
trees. I like having a
nice sitting area with a
swing.
There can also be a
small private pool.

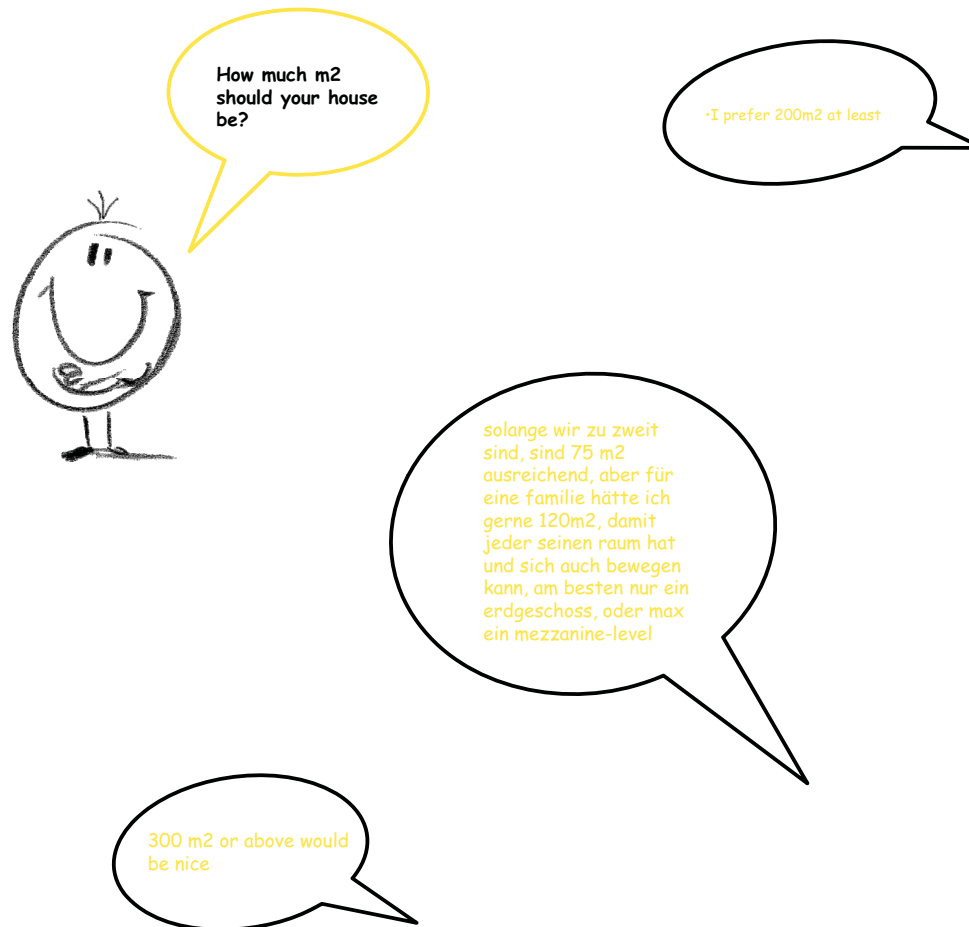


What do you think about family live? Do you want to stay with your family when you get older or do you prefer your own home?

Family live is what we raised & grown up. Our traditions, habits, faith & religion always advise us to believe in family & to be always close with our relatives & neighbors.
•I prefer stay with my family when you get older

Familie ist wichtig, aber wenn man älter wird, braucht man seinen eigenen Freiraum

I prefer my own home





If they give in percent in how much green area and how much general residential building area you prefer?

I prefer 60% green area & 30% residential building area.

30% green area/freiflächen
allgemein - 60% buliding

I prefer green area by 90%



What would you like to have in your neighbourhood?

- Calm
- Have sense of honor.
- Green area.
- Health club
- Family

nicht ganz ruhig und abgelegen, also am besten wärs, wenn man gleich in stadtnähe wäre, wo man alles erledigen kann, einkaufen, schule,... also nicht am land oder in einem dorf!

Shopping mall, beach or river, waterfall, my work, club

PALMA CITY

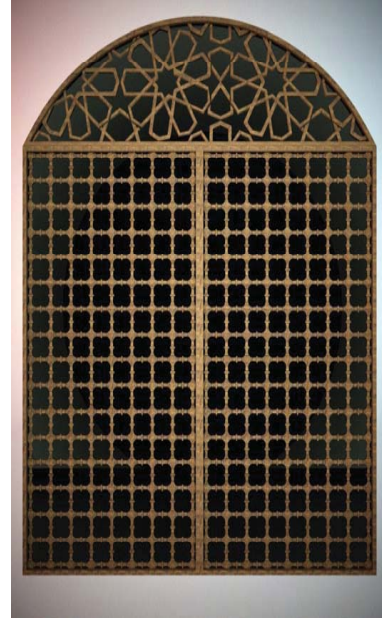
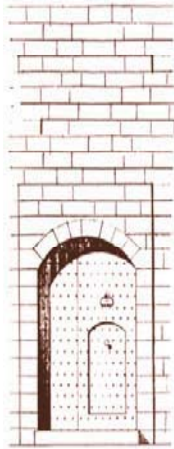
klimagerechtes wohnen in kairo

Moderne Architektur



+

traditionelle Elemente



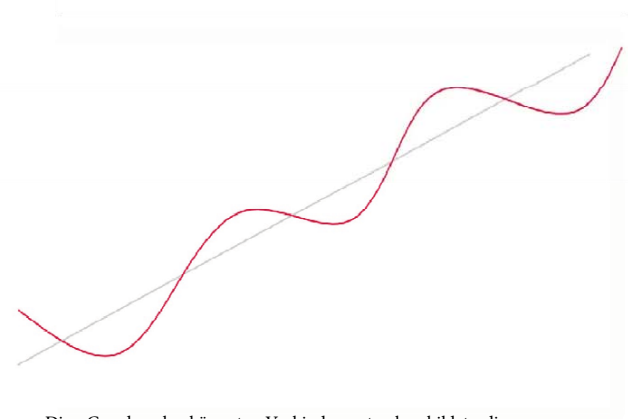
PALMA CITY

Klimagerechtes wohnen in kairo

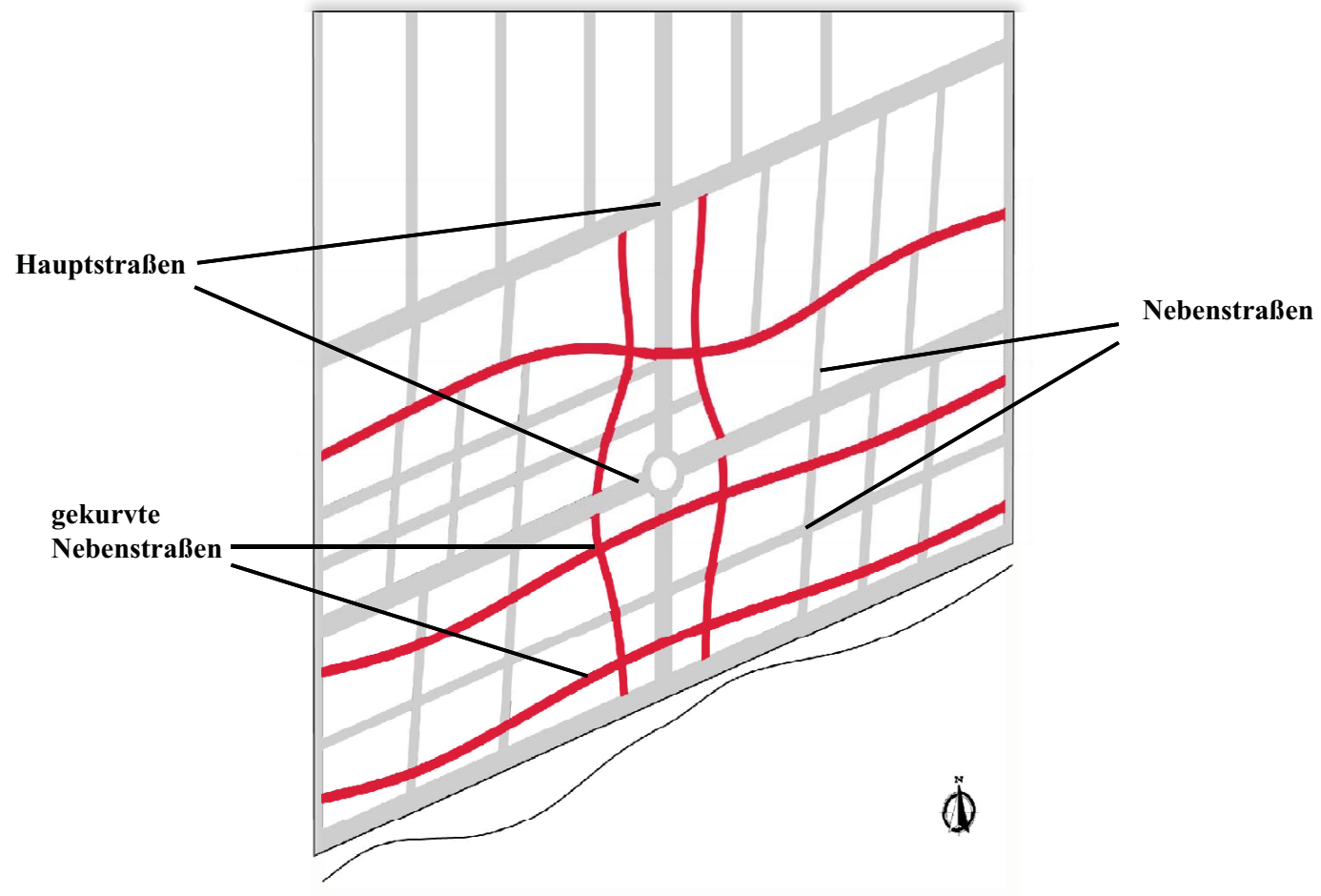




PALMA CITY

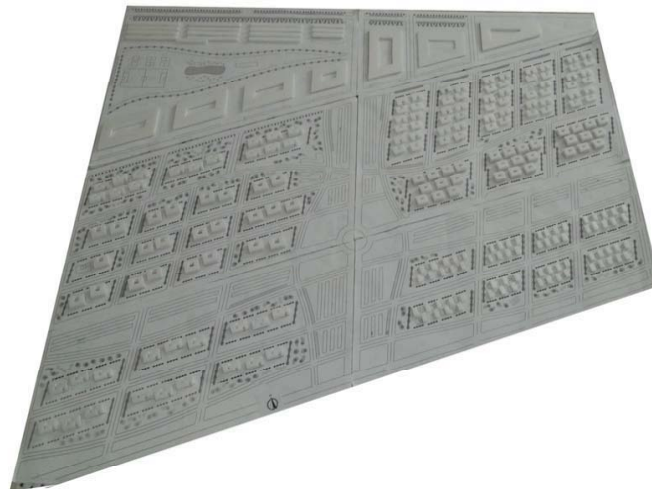
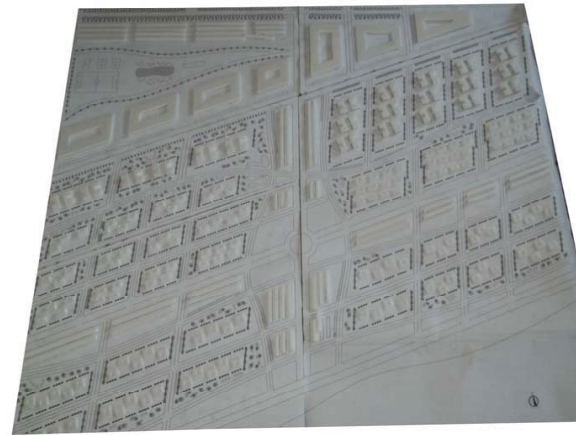
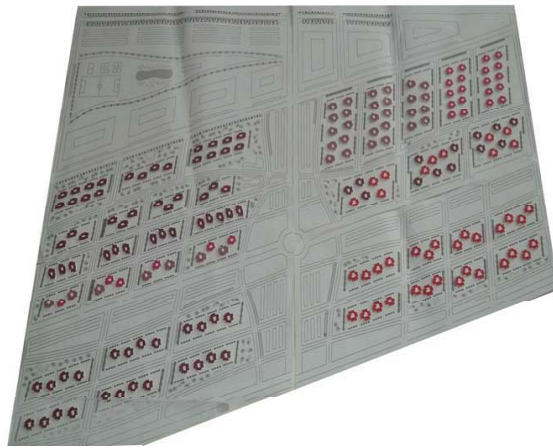


Die Gerade als kürzeste Verbindungsstrecke bildet die Hauptstraßen sowie Nebenstraßen der Palma City. Diese Rasterung wird mittels gekurvte Nebenstraßen gebrochen und bildet somit eine Dynamik.





03.3 Verschiedene Entwürfe



PALMA CITY klimagerechtes wohnen in kairo

Das Projekt

Einkaufsstrasse (Souk)

Diese sind entlang der Hauptstrasse angeordnet,
damit die Wohngebiete ungestört bleiben.



Bildungseinrichtungen (Madrasa)

Bildungseinrichtungen wie Kindergärten, Volksschule, Mittelschule und Gymnasium

Werkstatt

Eine Werkstatt für die Schulen soll den Kindern die Möglichkeit geben selbst aus Ton Figuren zu schaffen, da der Ton in Ägypten eine große Rolle spielt.

Moschee

Ärztezentrum

Sportclub

Für die ägyptische Bevölkerung hat der Sportclub eine große Bedeutung, da sich die meisten Familien dort treffen.



klimagerechtes wohnen in kairo

PALMA CITY

Wohntyp A

In diesen Anlagen entstehen dreigeschossige Wohnbauten. Sie besitzen eine U-Form, wobei dadurch Innenhöfe mit Brunnen entstehen. Somit schafft man eine erfrischende Wirkung und einen erfreulichen psychologischen Effekt.

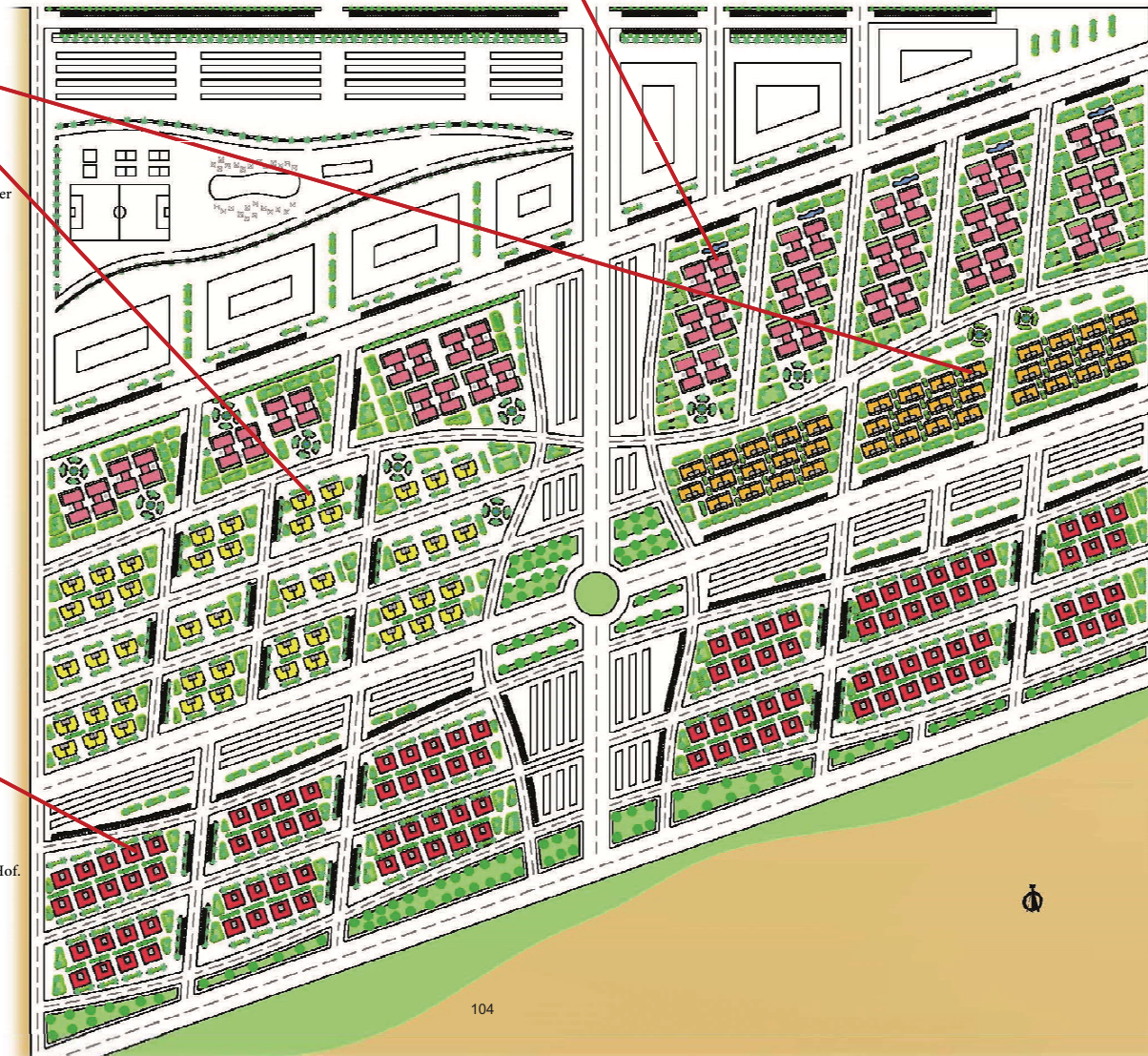
Wohntyp B +

Wohntyp C

Hier entstehen in U-Form zweigeschossige Einfamilienhäuser, wobei der Innenhof ebenfalls einen Brunnen besitzt.

Wohntyp D

Im letzteren Bereich der Palma City entstehen eingeschossige Familienhäuser. Hier gruppieren sich die Räume um einen innenliegenden Hof.

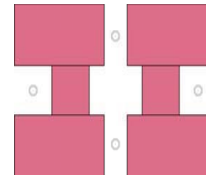


klimagerechtes wohnen in kairo

PALMA CITY

Wohntyp A

Dreigeschossige Wohnbauten,
Wohnungsgröße beträgt 145m²



Wohntyp B

Zweigeschossige Einfamilienhäuser
Hausgröße beträgt 140m²



Wohntyp C

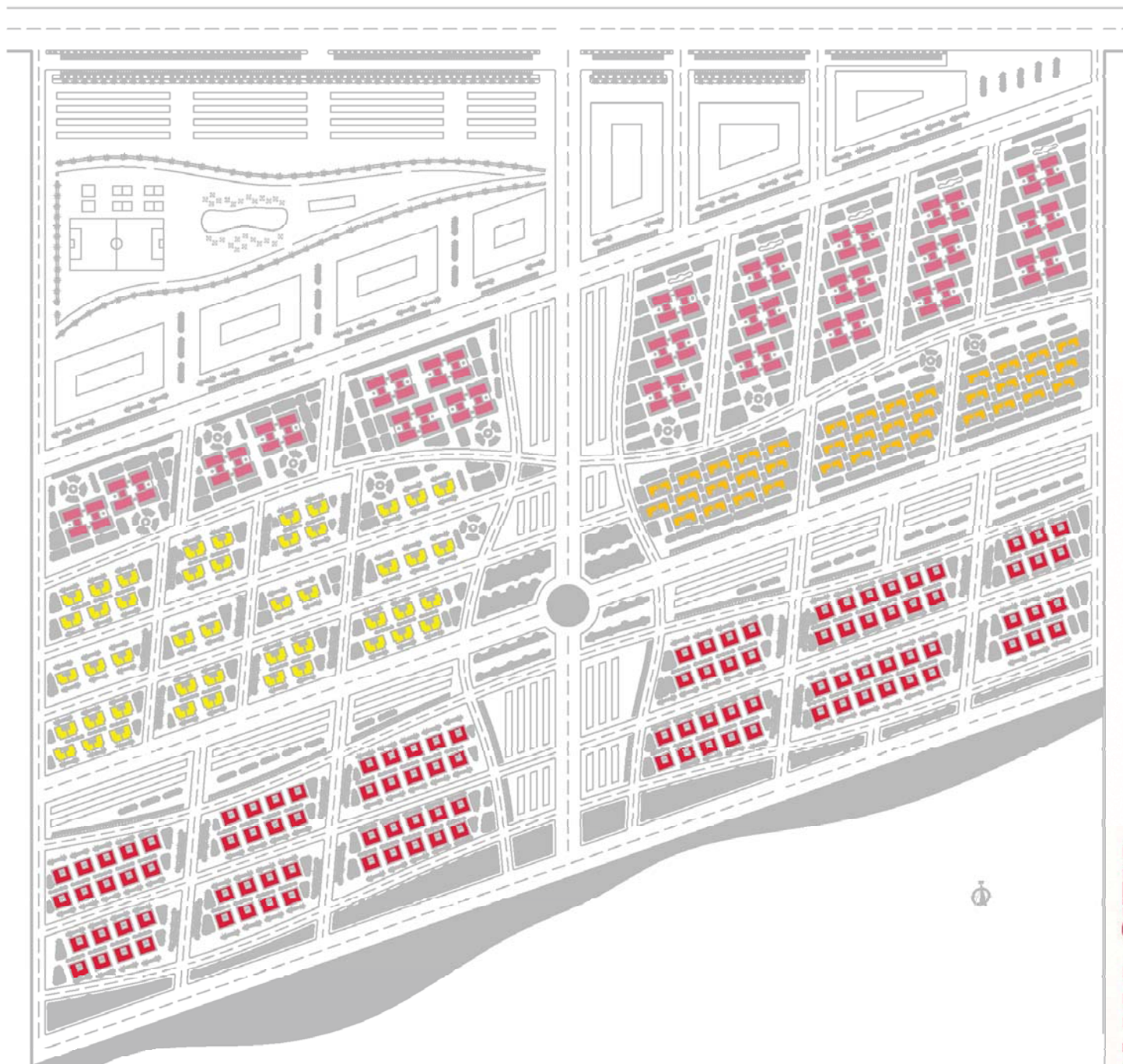
Zweigeschossige Einfamilienhäuser
Hausgröße beträgt 156m²



Wohntyp D

Eingeschossige Einfamilienhäuser
Hausgröße beträgt 175m²



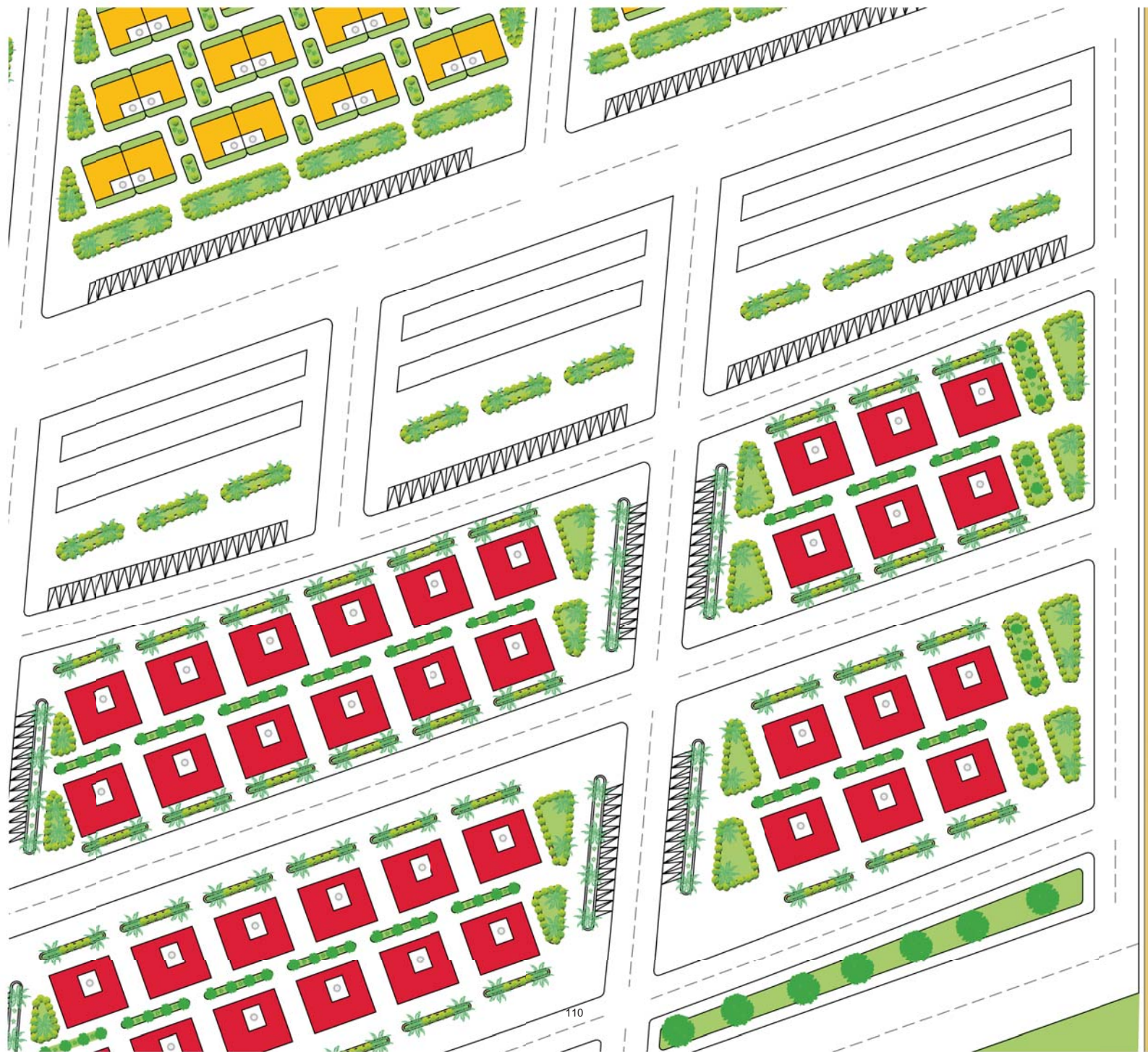


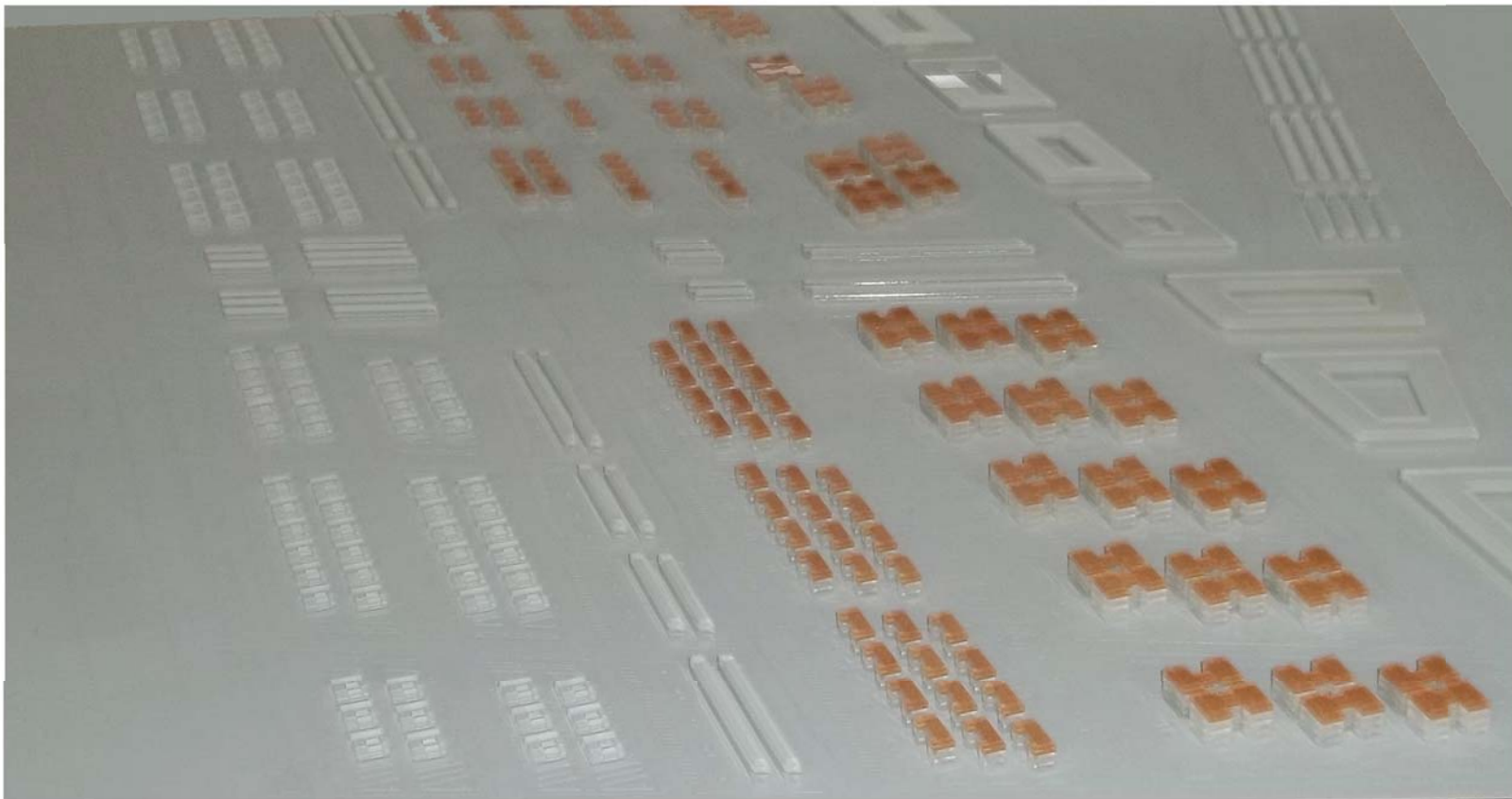
m = 1:4000



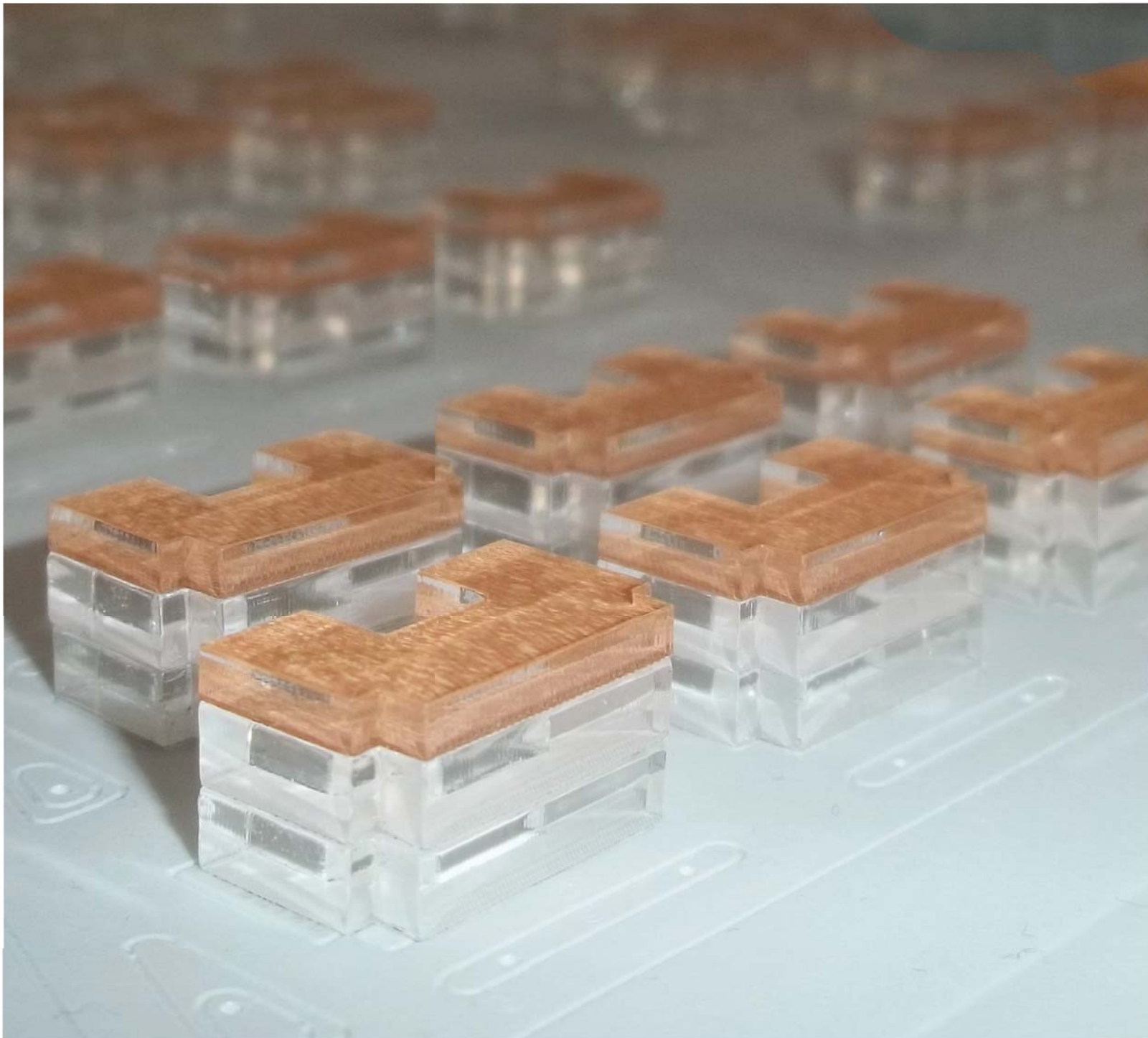








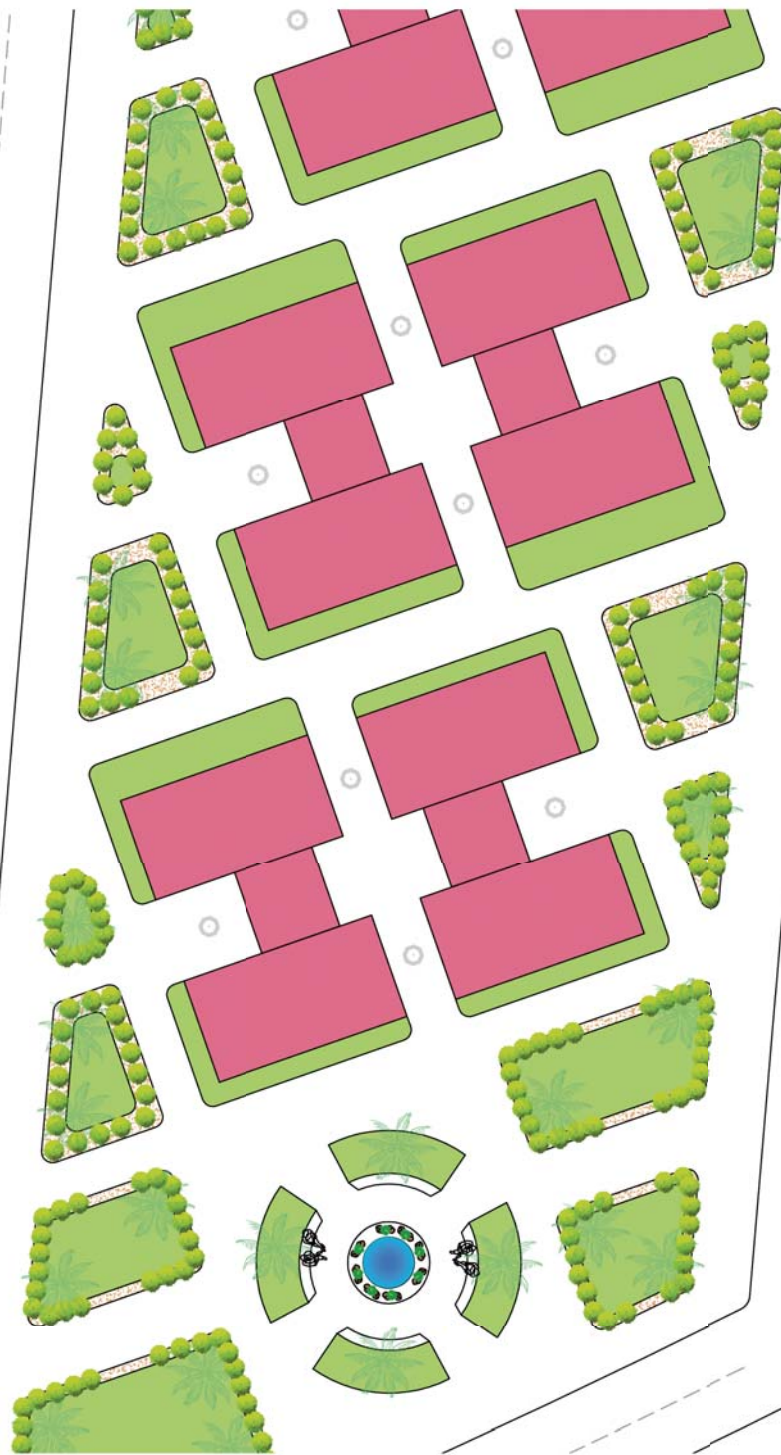




PALMA CITY

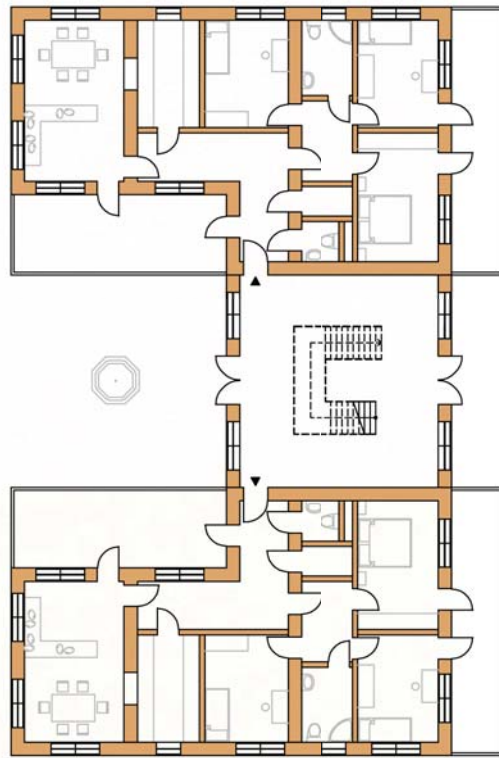
klimagesrechtes wohnen in kairo

Wohntyp A

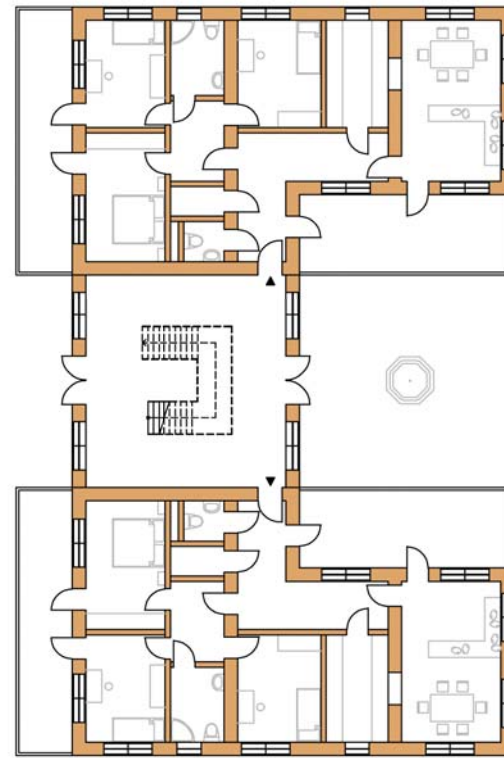


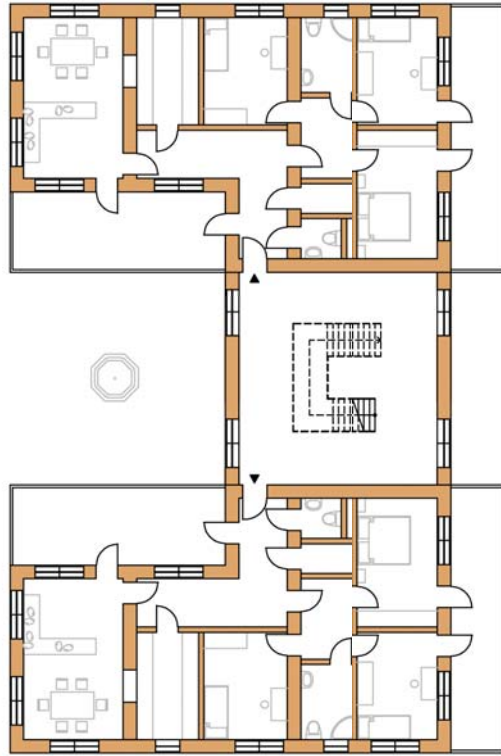


PALMA CITY klimagerechtes wohnen in kairo



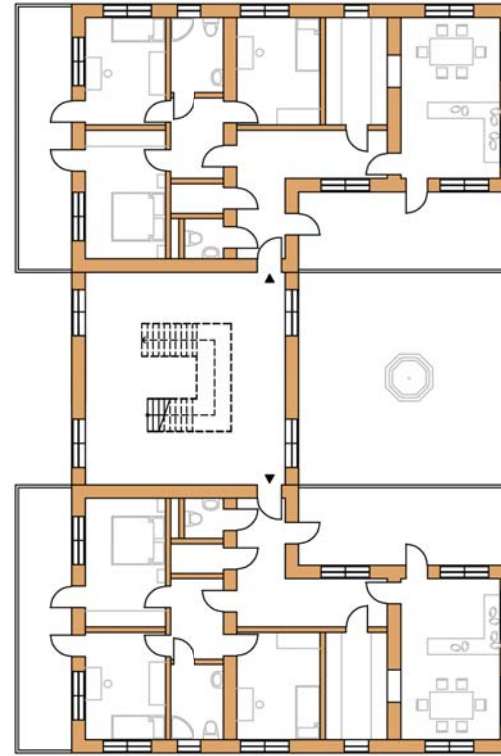
EG
m=1:200

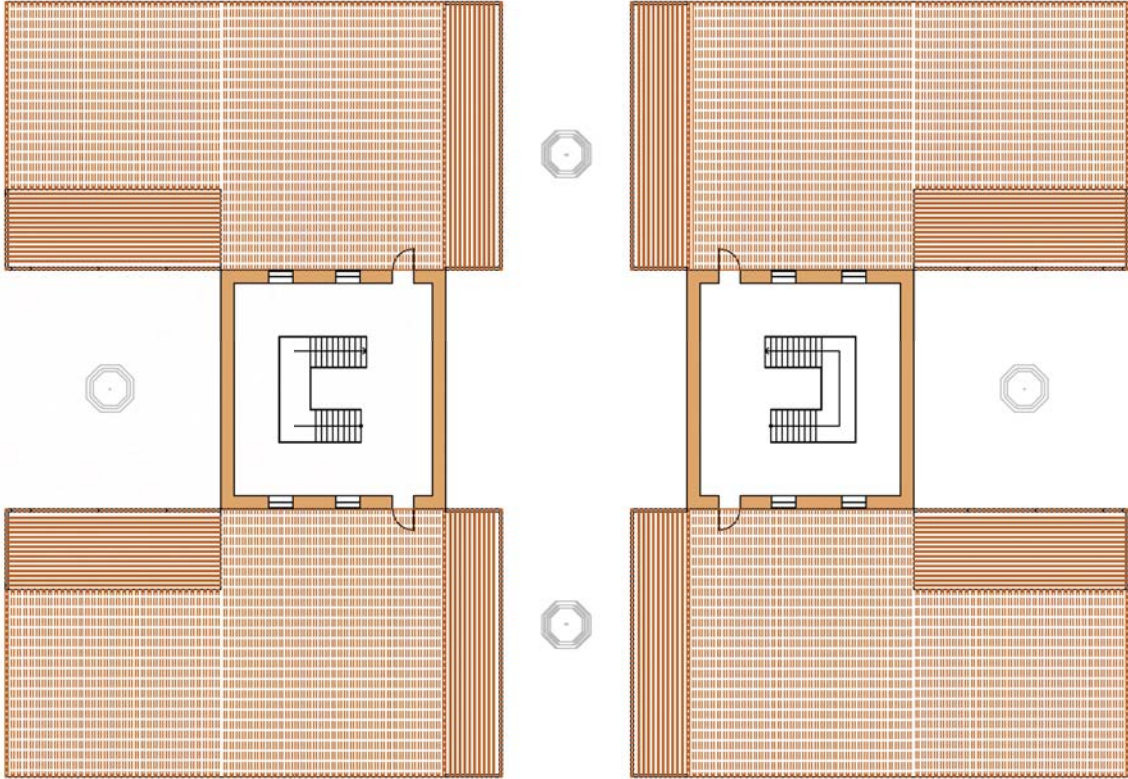


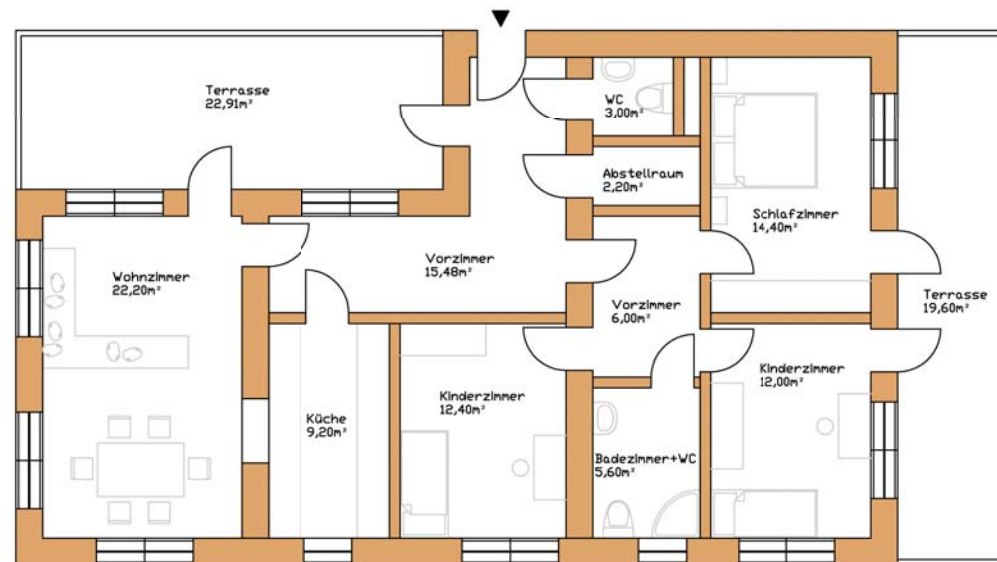


1+2 DG
m=1:200

121







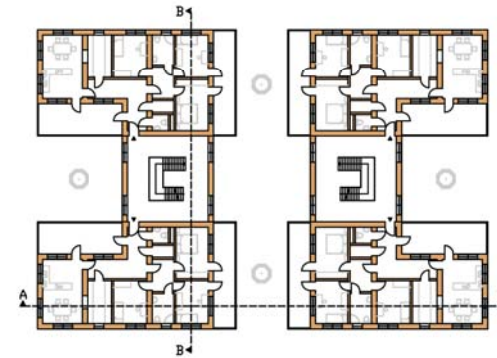
Wohnung
m=1:100

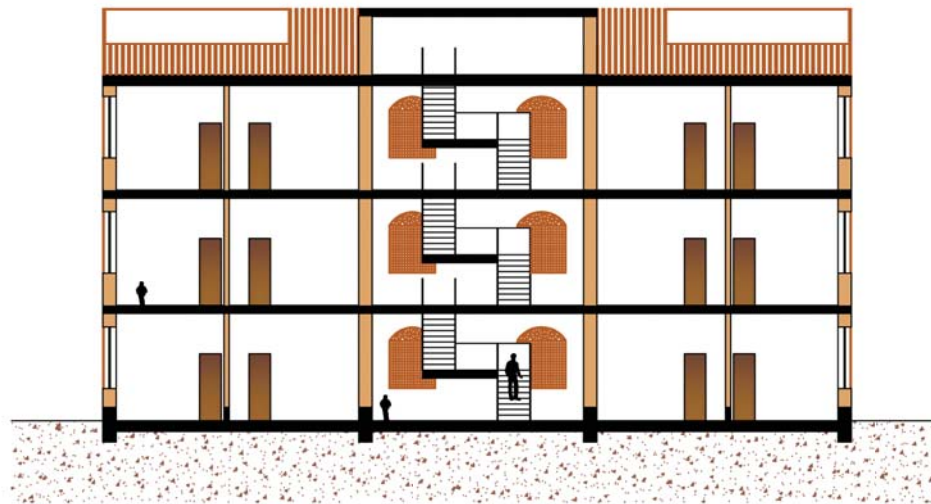
PALMA CITY

klimagerechtes wohnen in kairo



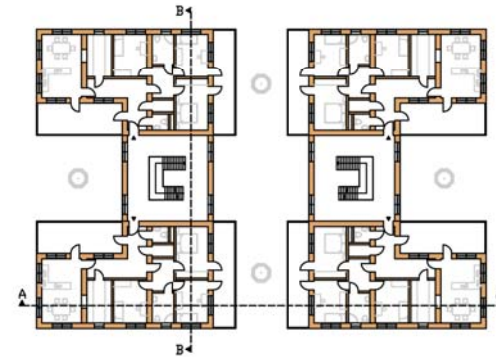
Schnitt A
m=1:200

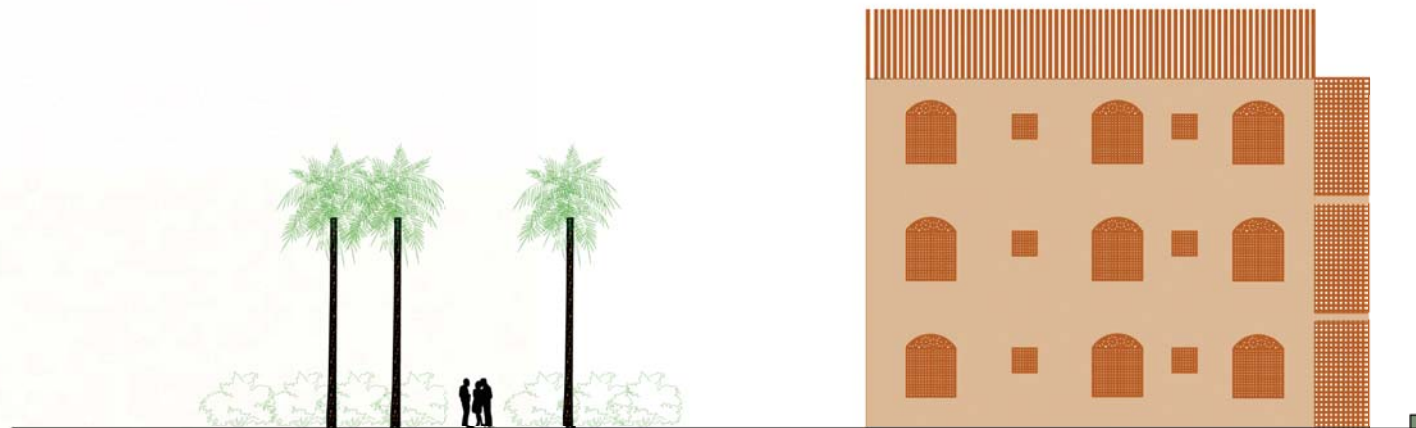




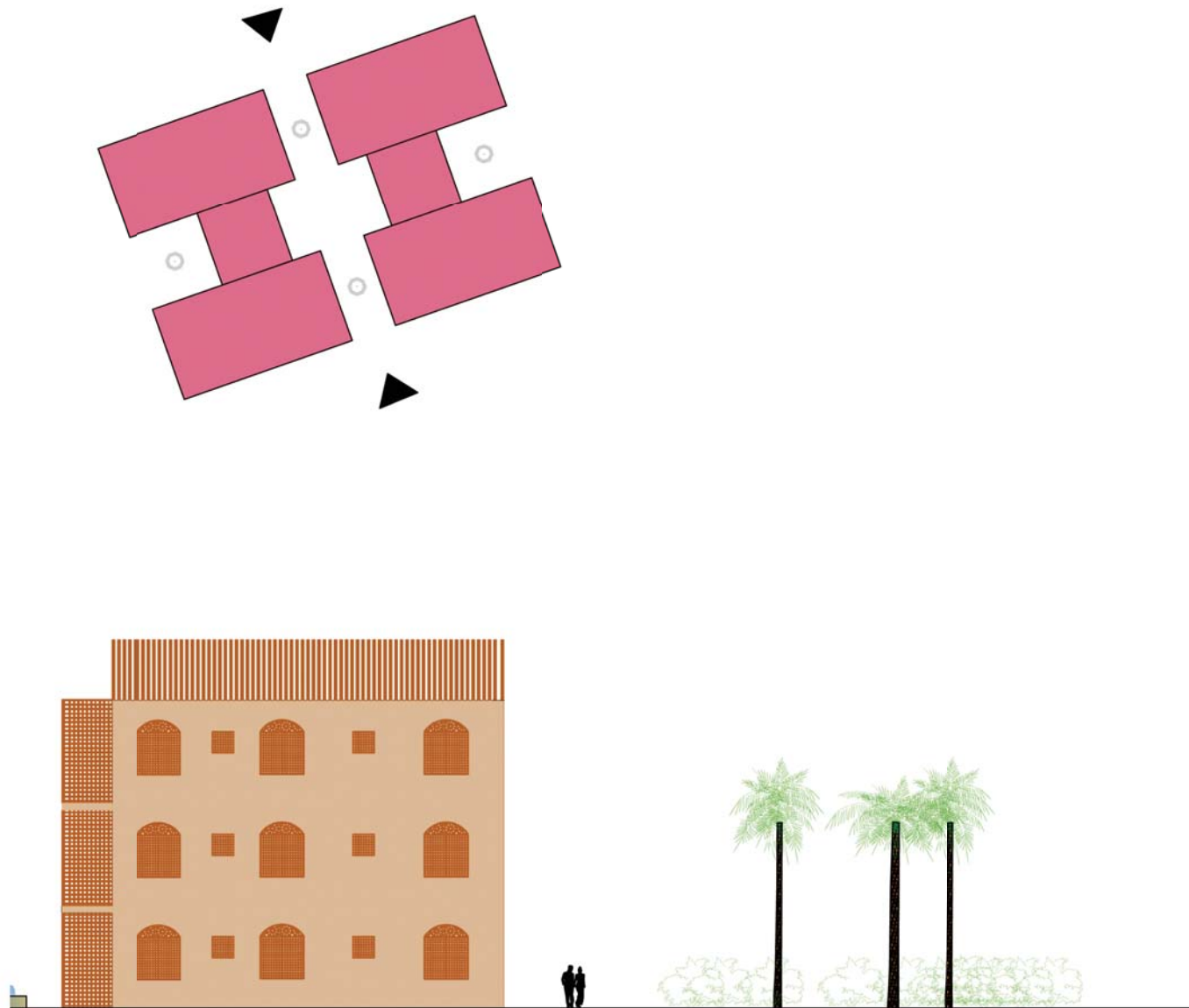
Schnitt B
m=1:200

125



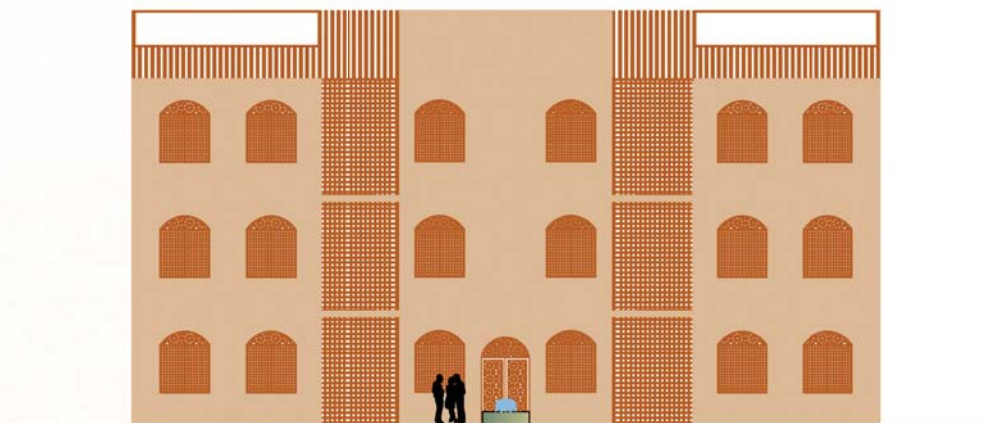


Ansicht Nord-West + Süd-Ost
m=1:200

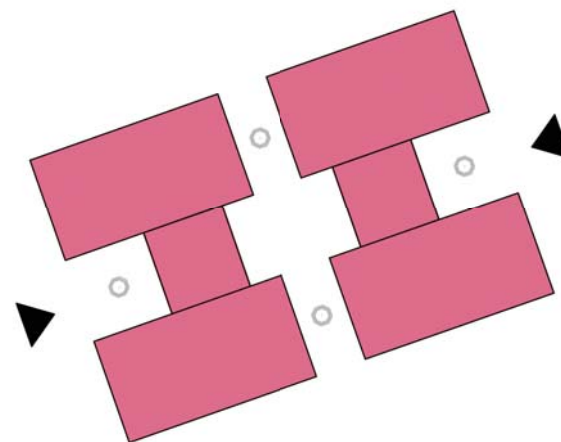


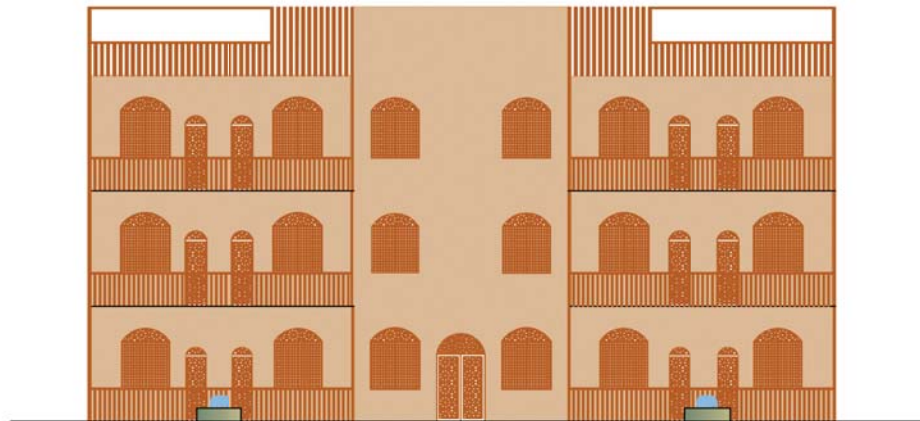
PALMA CITY

klimagerechtes wohnen in kairo

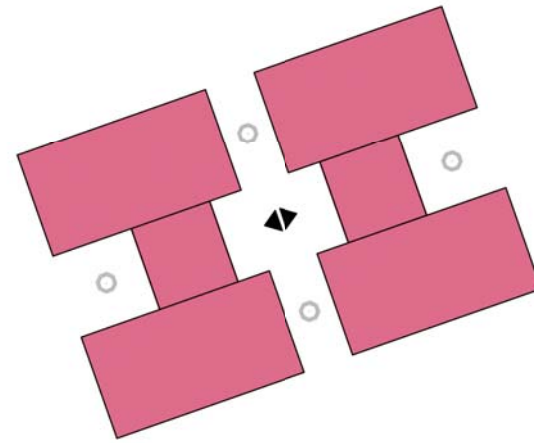


Ansicht Nord-Ost + Süd-West
 m=1:200





Ansicht Innenhof
m=1:200



PALMA CITY

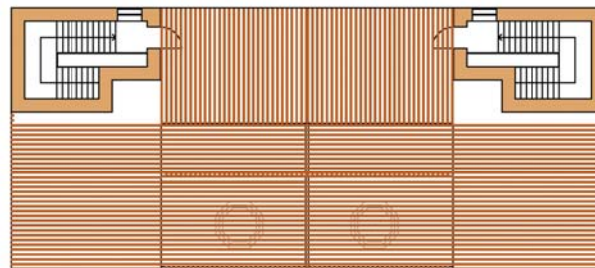
„Klimagerechtes wohnen in kairo“

Wohntyp B

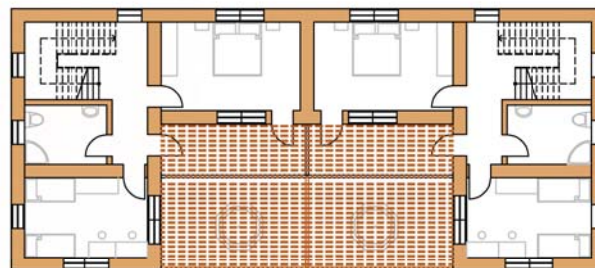


PALMA CITY

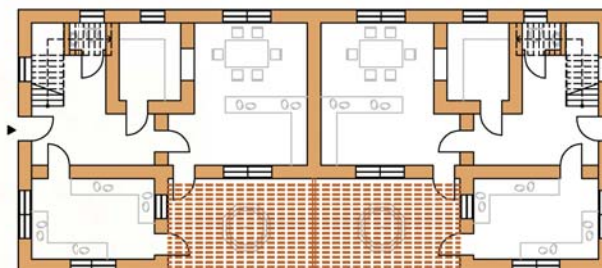
klimagerechtes wohnen in kairo



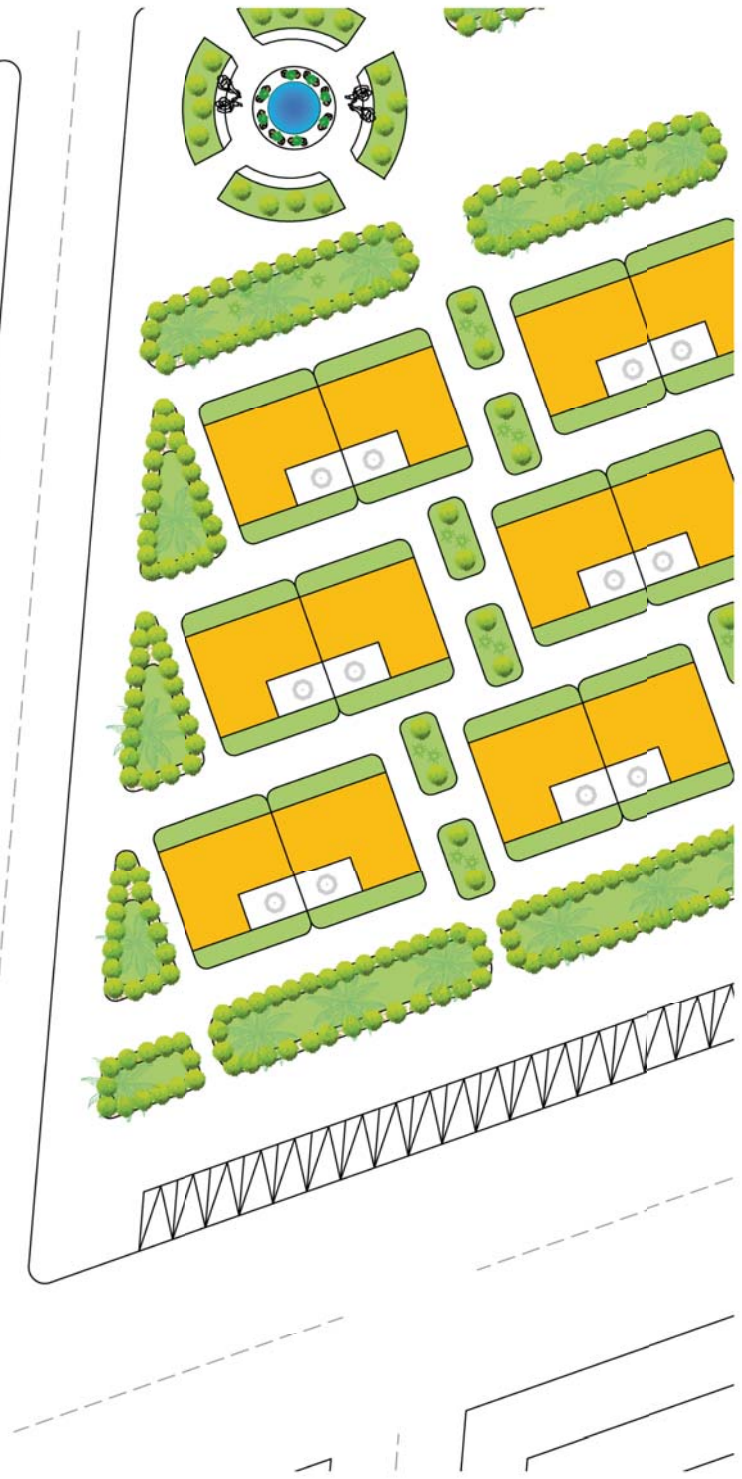
DG
 m=1:200

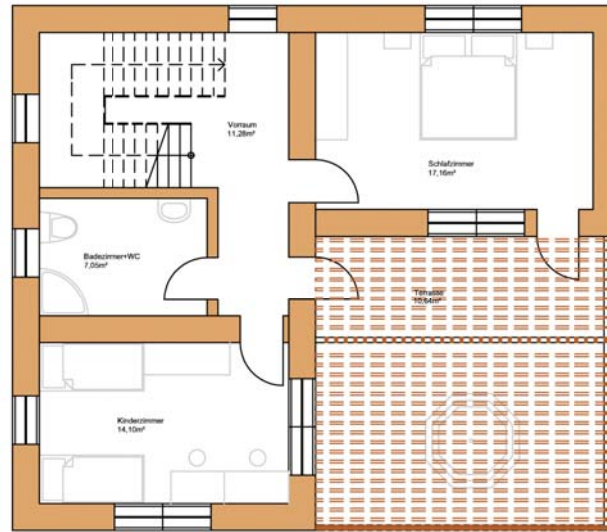


OG
 m=1:200



EG
 m=1:200

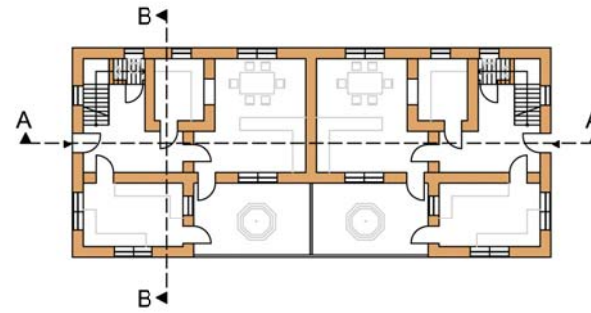




OG
m=1:100



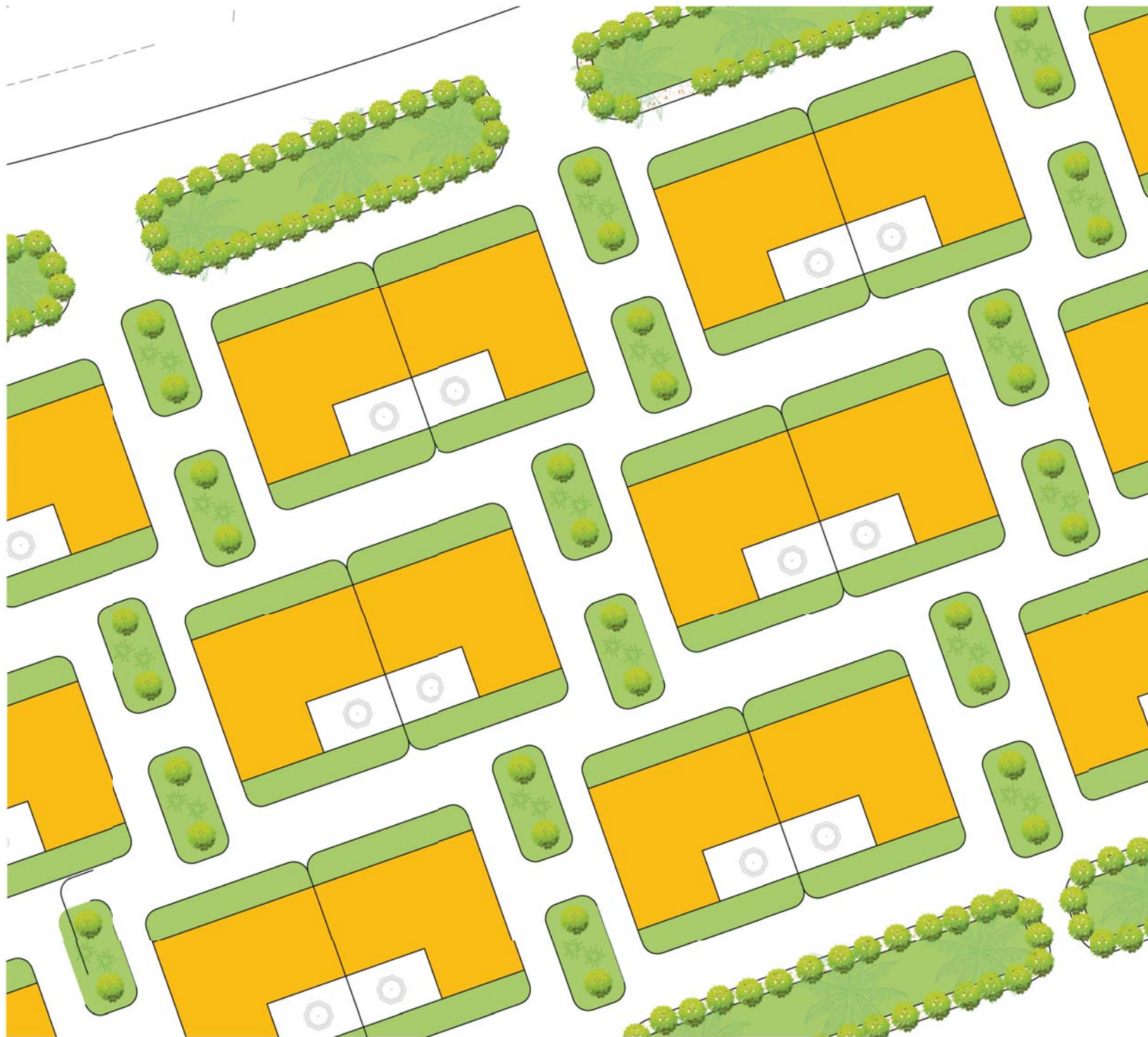
EG
m=1:100

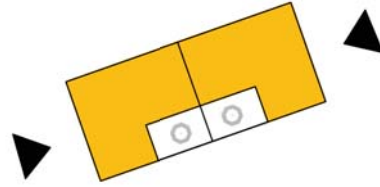
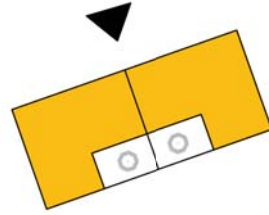
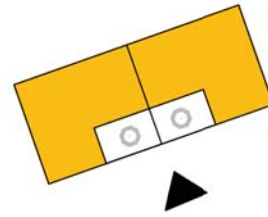


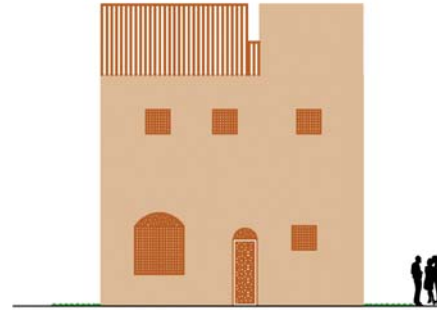
Schnitt B
m=1:200



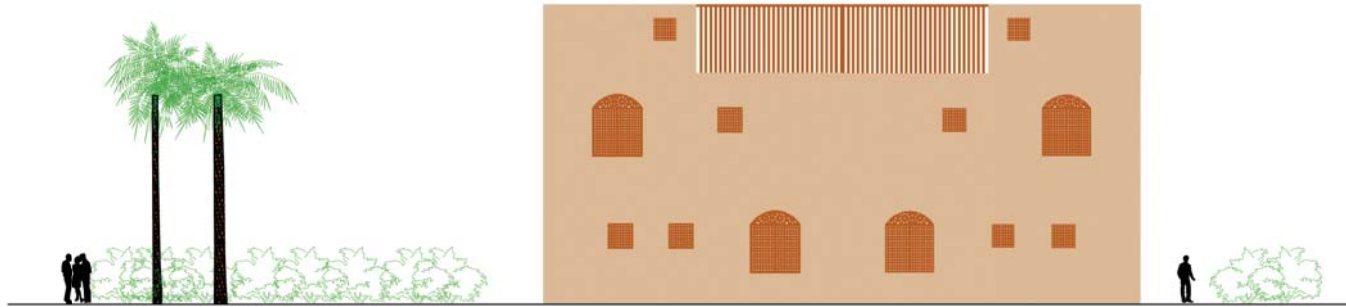
Schnitt A
m=1:200



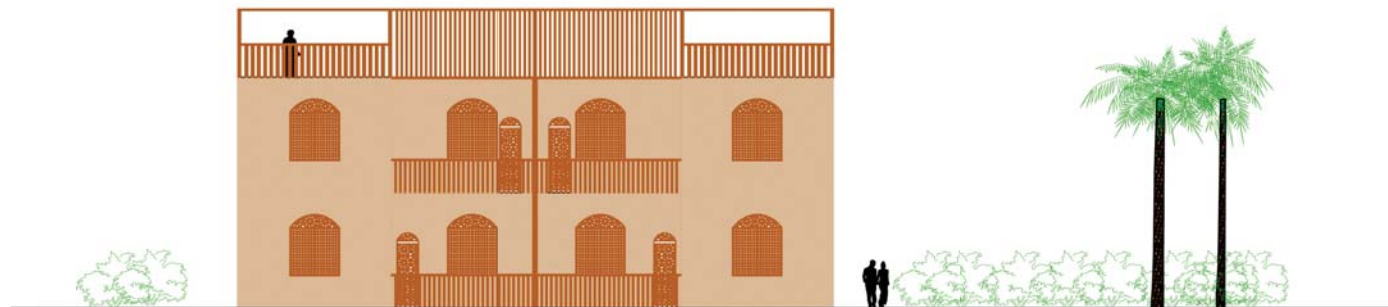




Ansicht Nord-Ost + Süd-West
m=1:200



Ansicht Nord-West
m=1:200

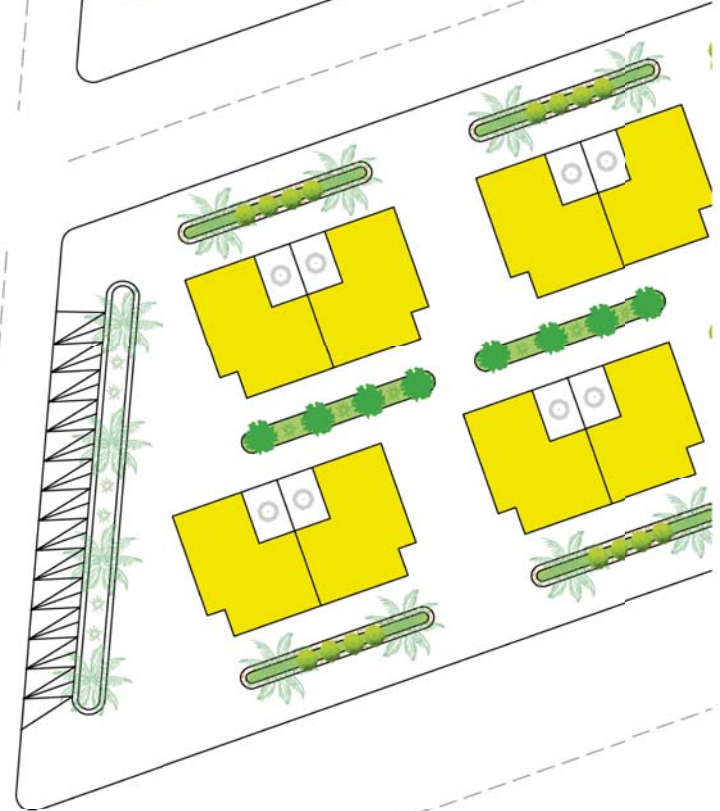
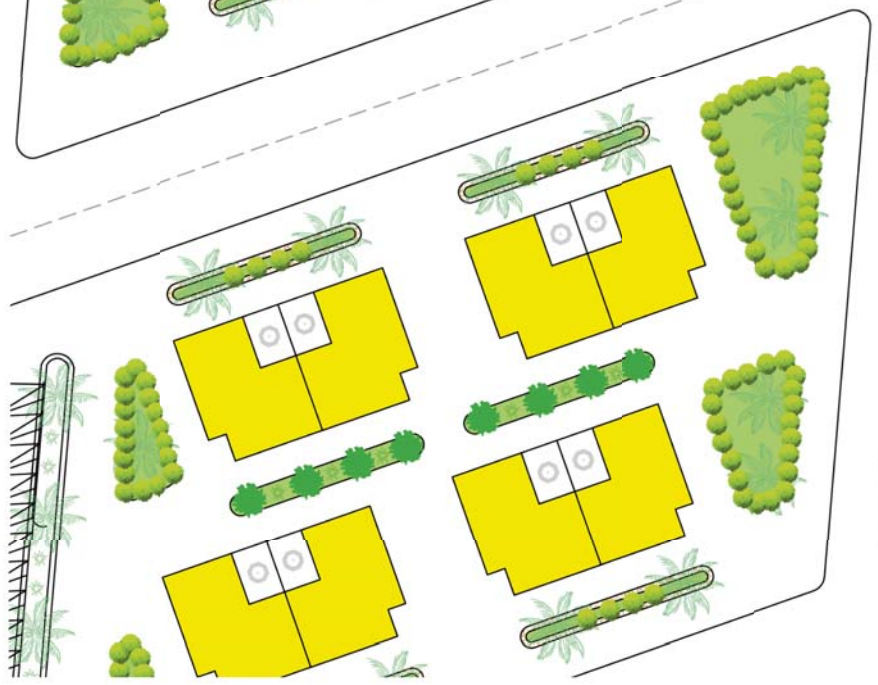
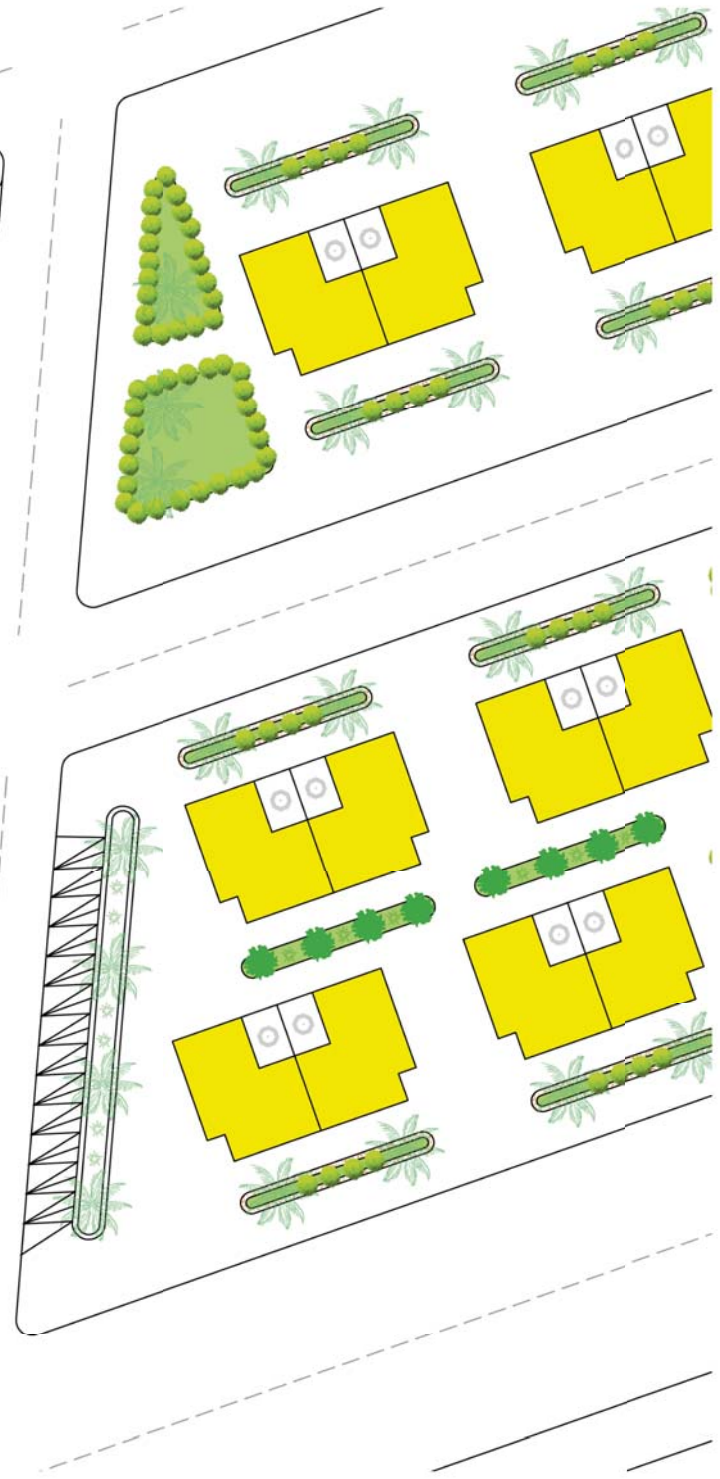


Ansicht Süd-Ost
m=1:200

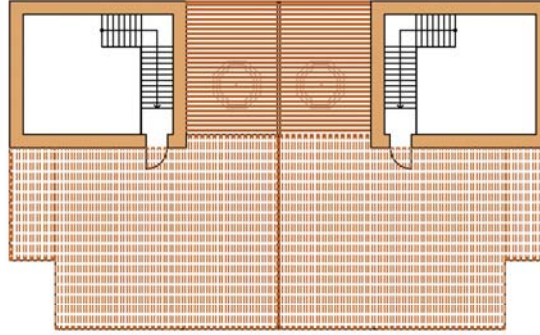
PALMA CITY

„Klimagerechtes Wohnen in Kairo“

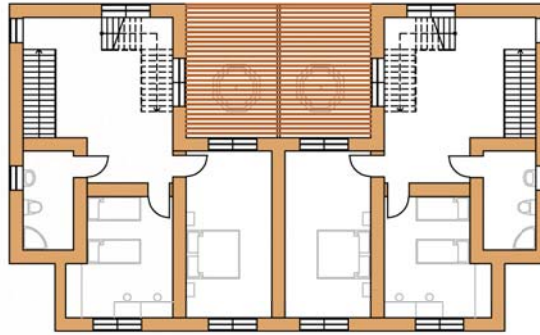
Wohntyp C



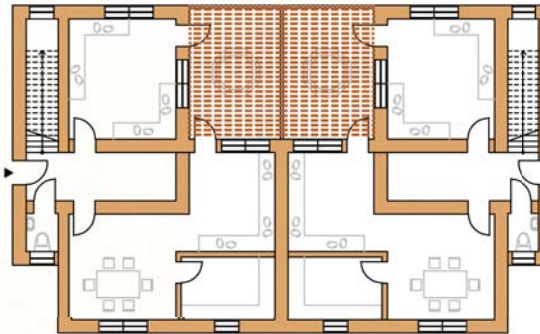




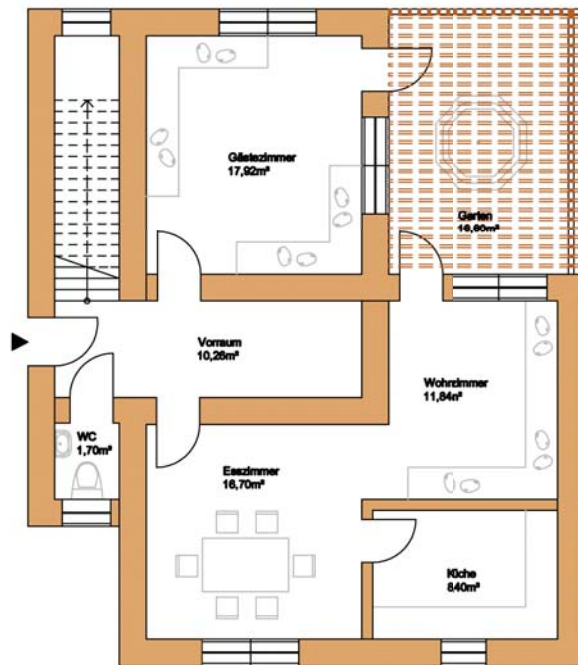
DG
m=1:200



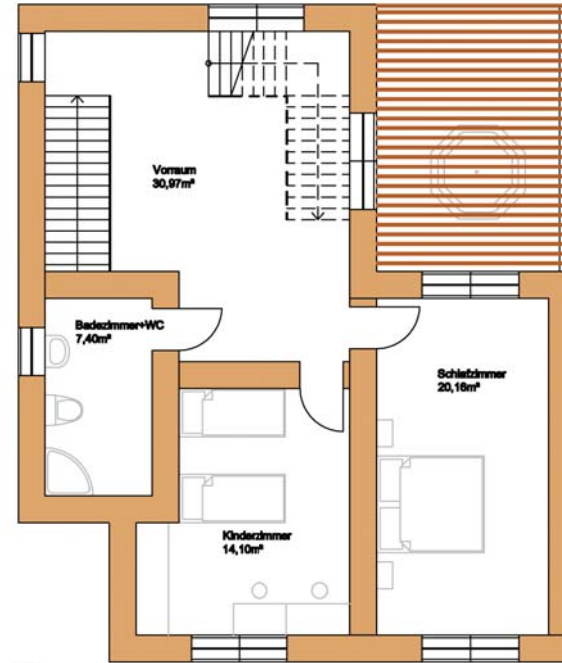
OG
m=1:200



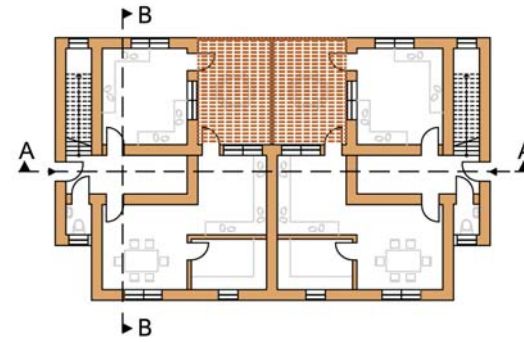
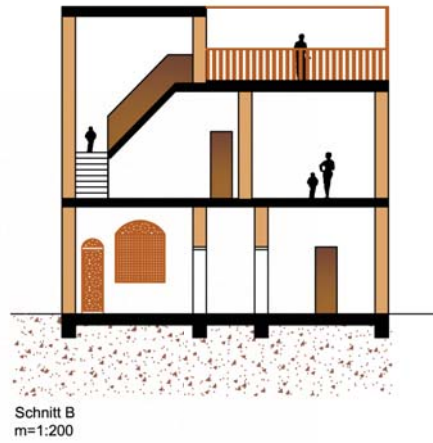
EG
m=1:200

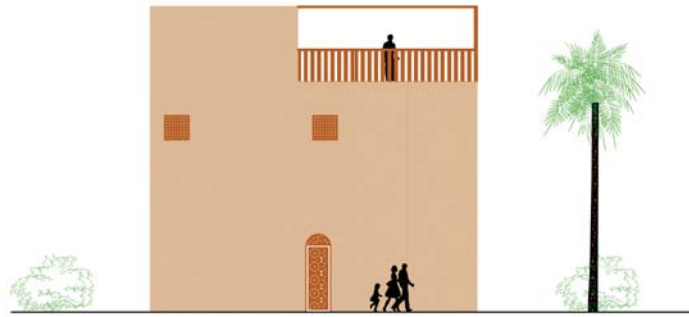


EG
m=1:100

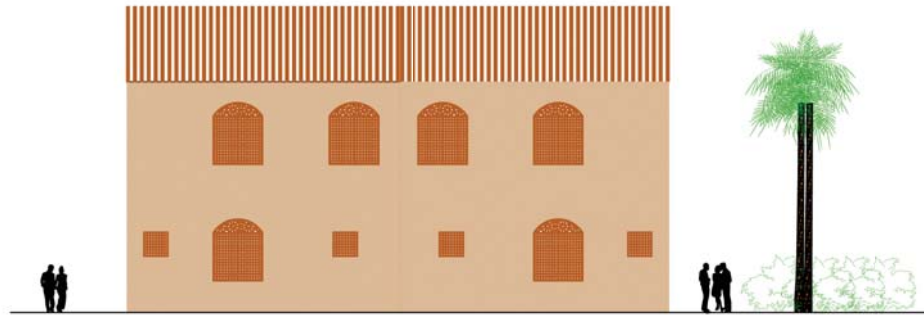
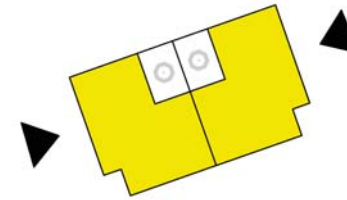


OG
m=1:100

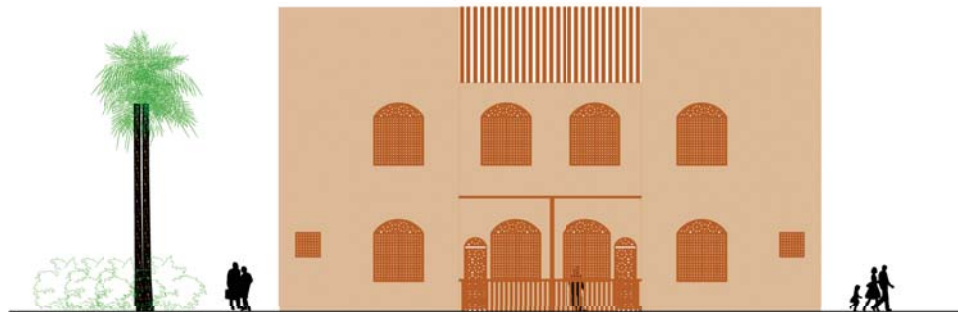
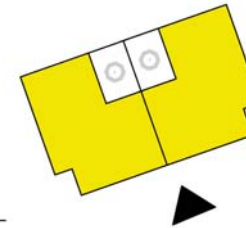




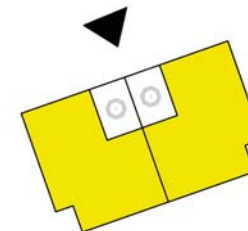
Ansicht Nord Ost + Süd West
m=1:200



Ansicht Süd-Ost
m=1:200



Ansicht Nord-West
m=1:200



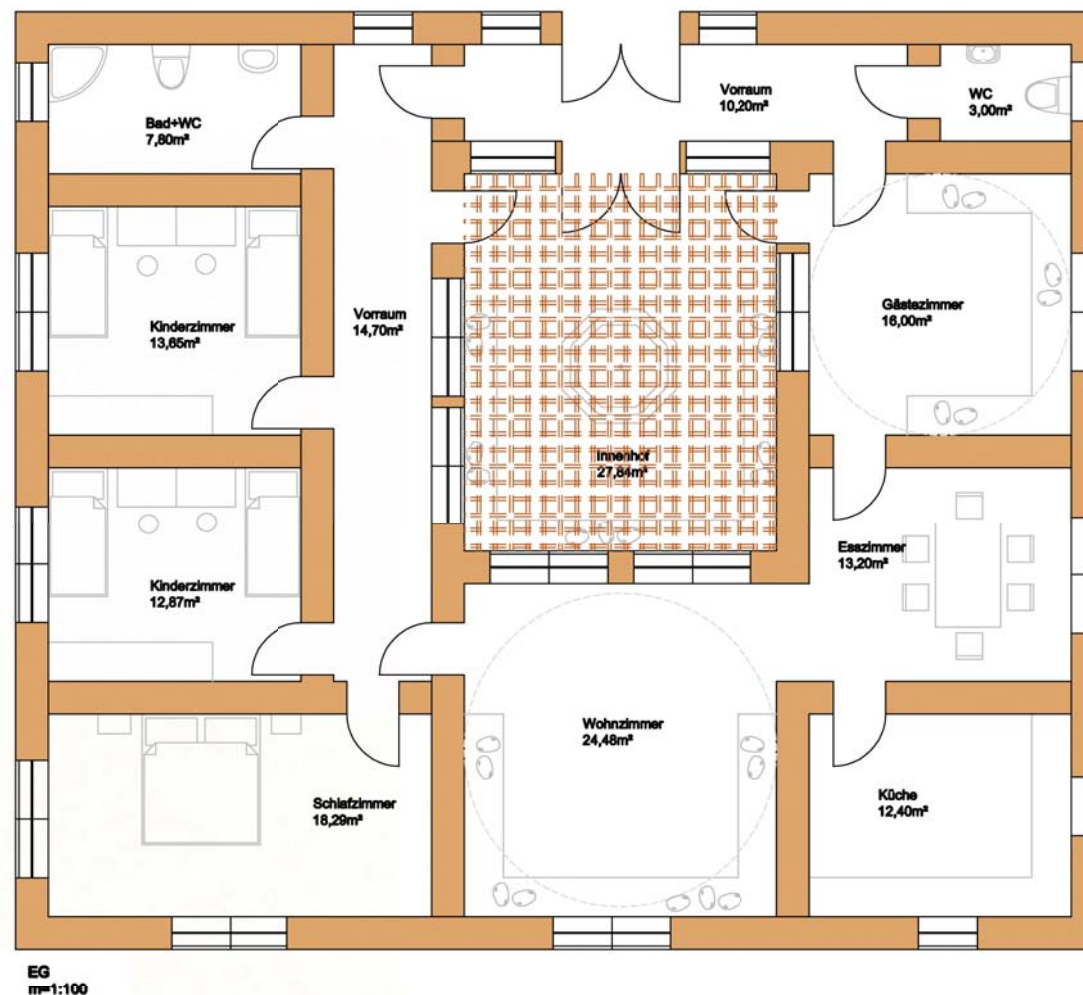
PALMA CITY

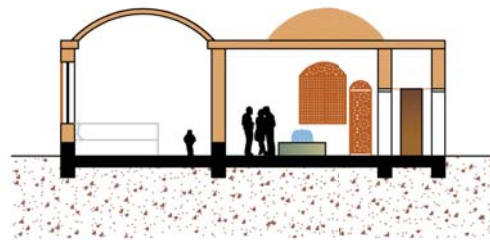
„Klimagerechtes Wohnen in Kairo“

Wohntyp D

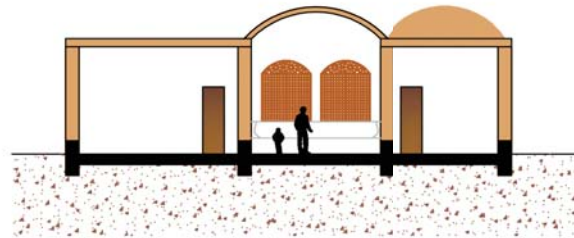




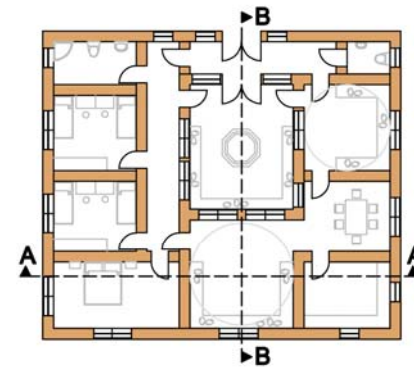


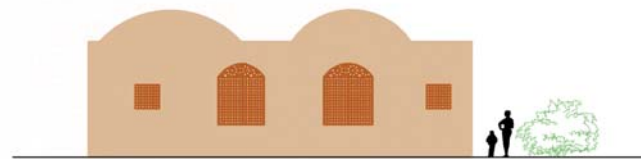


Schnitt B
m=1:200

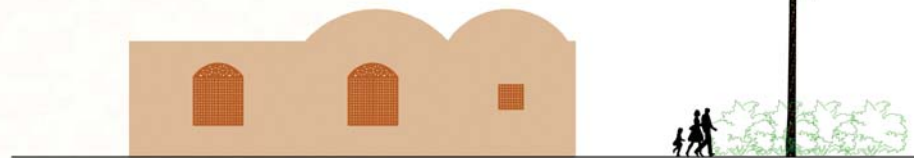


Schnitt A
m=1:200

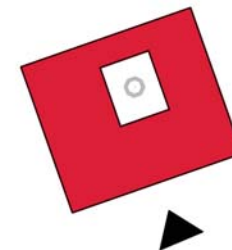
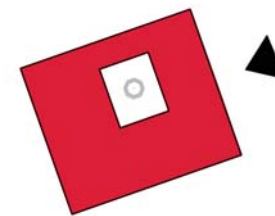


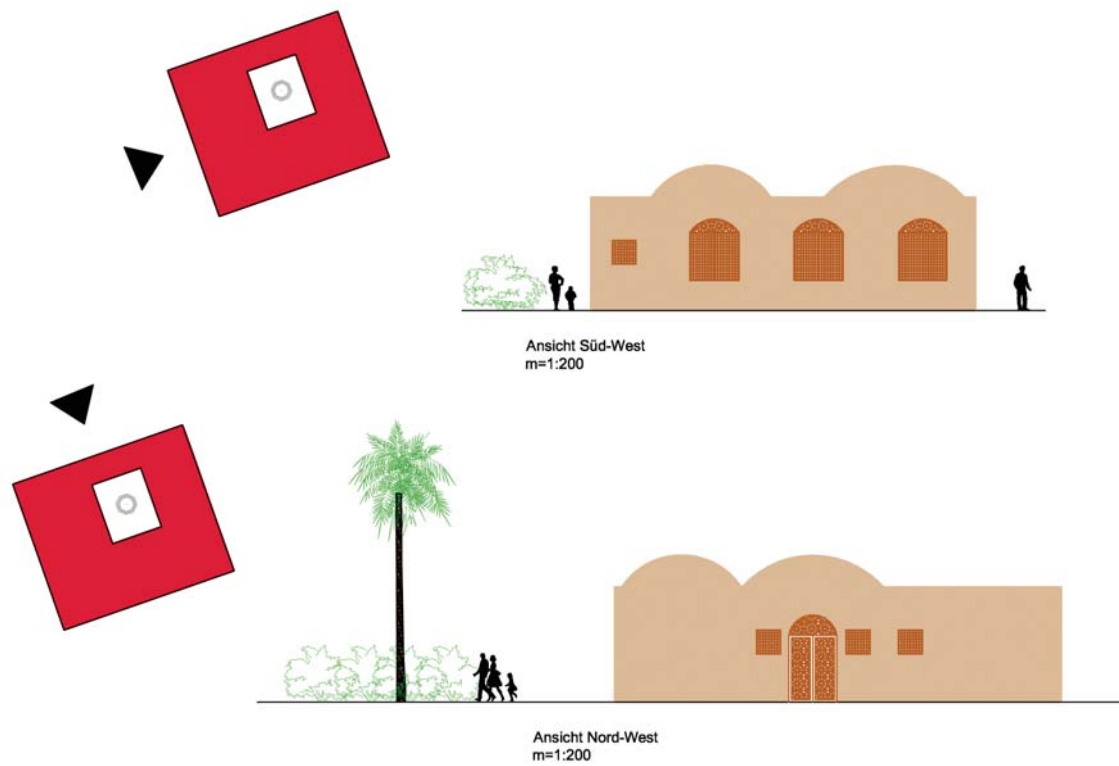


Ansicht Nord-Ost
m=1:200



Ansicht Süd-Ost
m=1:200





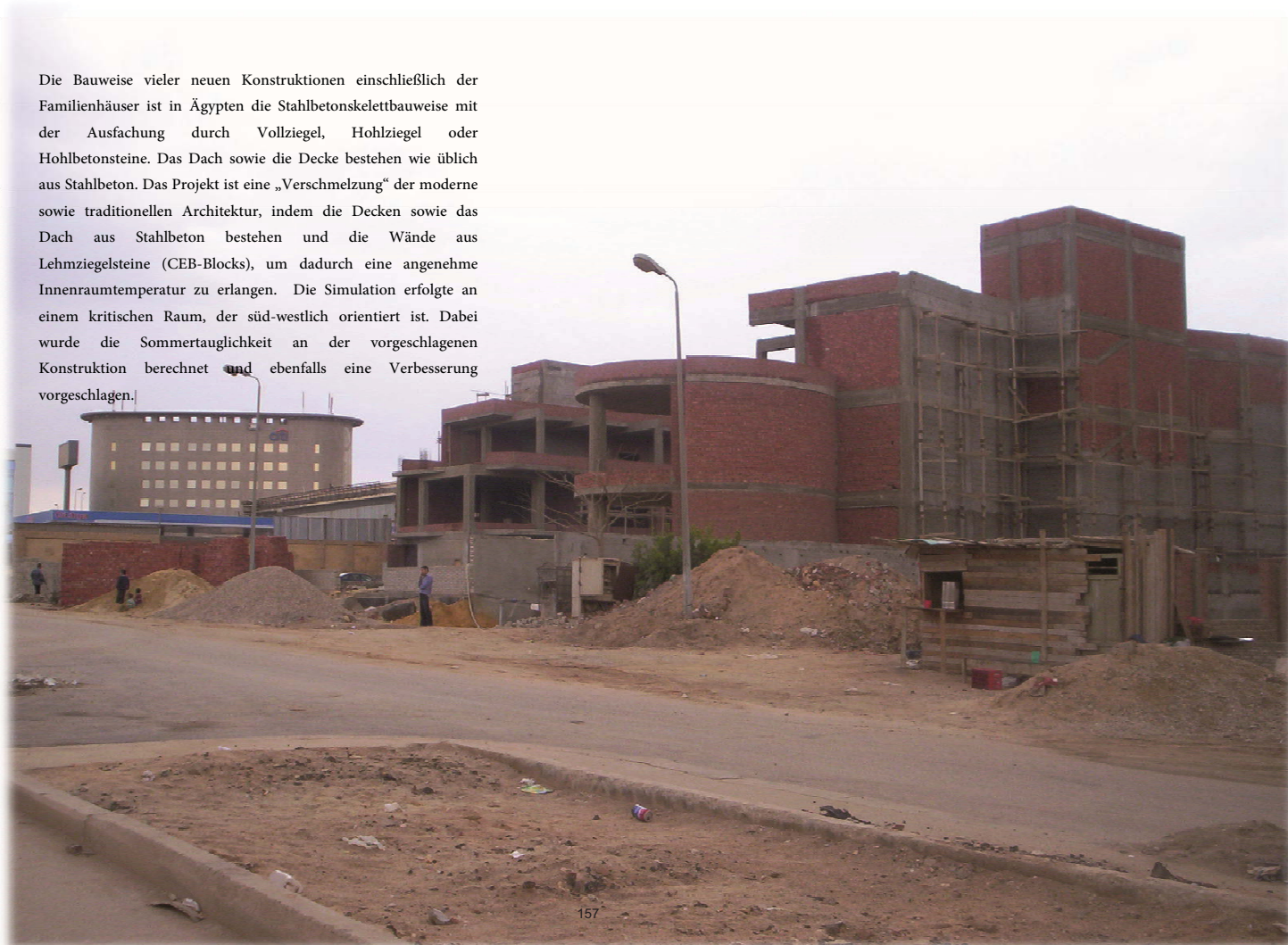
4_simulation

klimagerechtes wohnen in kairo

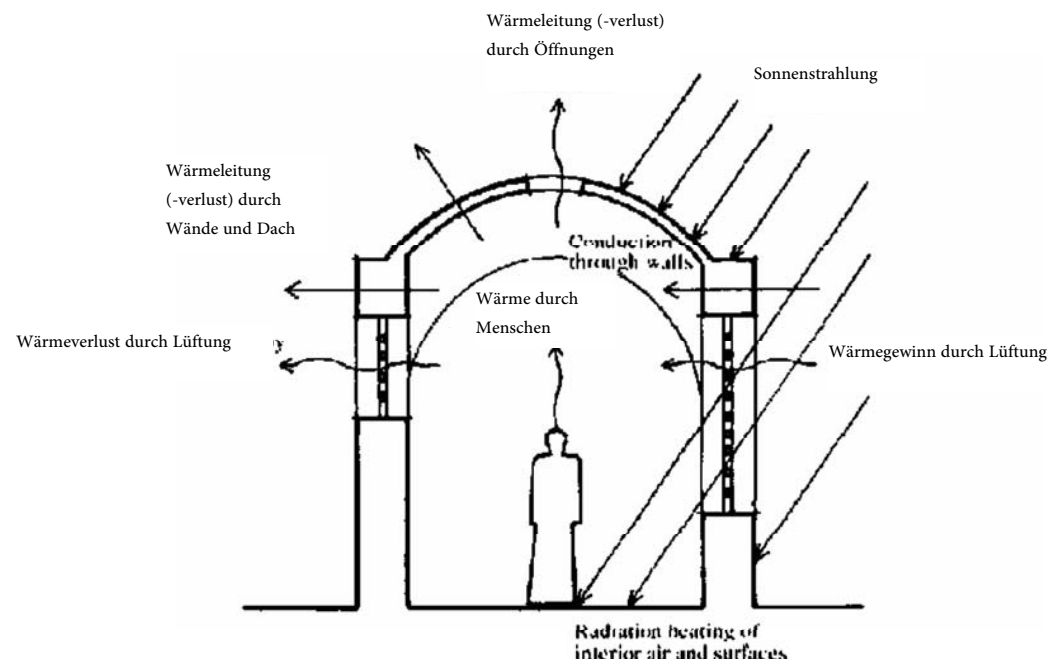
PALMA CITY

04.1 Bauweise

Die Bauweise vieler neuen Konstruktionen einschließlich der Familienhäuser ist in Ägypten die Stahlbetonskelettbauweise mit der Ausfachung durch Vollziegel, Hohlziegel oder Hohlbetonsteine. Das Dach sowie die Decke bestehen wie üblich aus Stahlbeton. Das Projekt ist eine „Verschmelzung“ der moderne sowie traditionellen Architektur, indem die Decken sowie das Dach aus Stahlbeton bestehen und die Wände aus Lehmziegelsteine (CEB-Blocks), um dadurch eine angenehme Innenraumtemperatur zu erlangen. Die Simulation erfolgte an einem kritischen Raum, der süd-westlich orientiert ist. Dabei wurde die Sommertauglichkeit an der vorgeschlagenen Konstruktion berechnet und ebenfalls eine Verbesserung vorgeschlagen.



04.2 Schematische Darstellung des Wärmegewinns- bzw. verlust in einem Gebäude



04.3 Raumangaben



Die Simulation erfolgte an dem Kinderzimmer des Wohntyps B. Dieses Kinderzimmer hat eine Fläche 14.1m^2 und ein Raumvolumen von 56.4 m^3 . Anhand des Geba-Programms wurde die Innenlufttemperatur im Vergleich zur Aussenlufttemperatur ermittelt und dieses in einem Diagramm zur Verdeutlichung dargestellt.

Raumangaben:

Aussenwand Nord-Ost: Fläche von 12 m^2

Aussenwand Süd-Ost: Fläche von 18.8 m^2

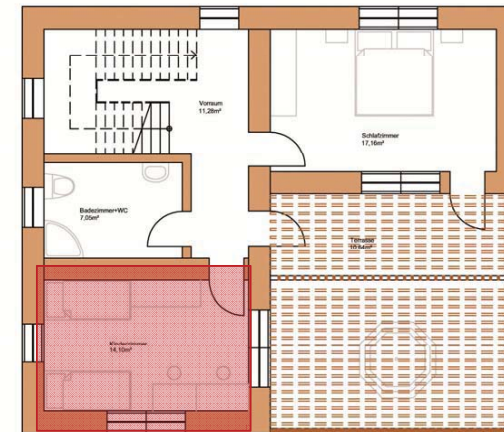
Aussenwand Süd-West: Fläche von 12 m^2

Aussendecke verschattet: Fläche von 14.1 m^2

Glas Nord-Ost: Fläche von 2.7 m^2

Glas Süd-Ost: Fläche von 2.7 m^2

Glas Süd-West: Fläche von 0.81 m^2

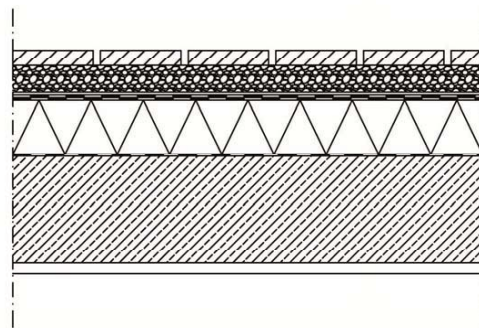


OG
m=1:100



04.4 Wand-, Decken- und Fussbodenaufbau

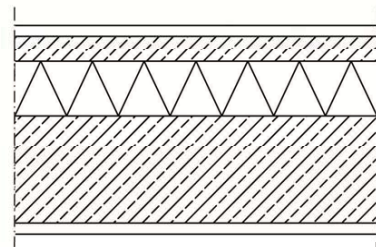
Deckenaufbau



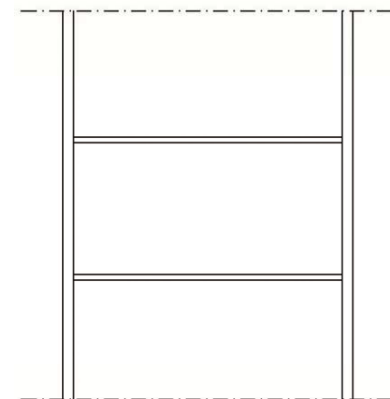
3cm Terrassenbelag
5cm Feinkies / Splitt
Schuttlage
Bitumenhaltige Abdichtung
10cm Wärmedämmung
Bituminöse Dampfsperre
20cm Stahlbetondecke
2cm Innenputz

Wandaufbau

Fussbodenaufbau



2cm Fliesen
5 cm Zementestrich
10cm Wärmedämmung
20cm Stahlbetondecke
2cm Innenputz



2cm Aussenputz 50cm Lehmziegel 2cm Innenputz

04.5 Simulation

Angaben zu Ägypten :

Geographische Breite: $30^{\circ} 08'$

Geographische Länge: $31^{\circ} 24'$

Seehöhe: 74m

Zeitzone: 30

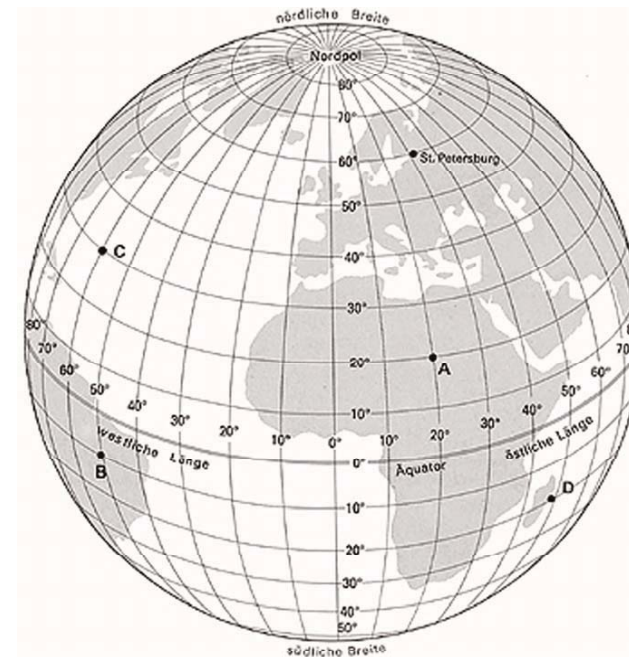
Allgemeine Angaben zum Gebäude:

Jahreszeit: Hitze

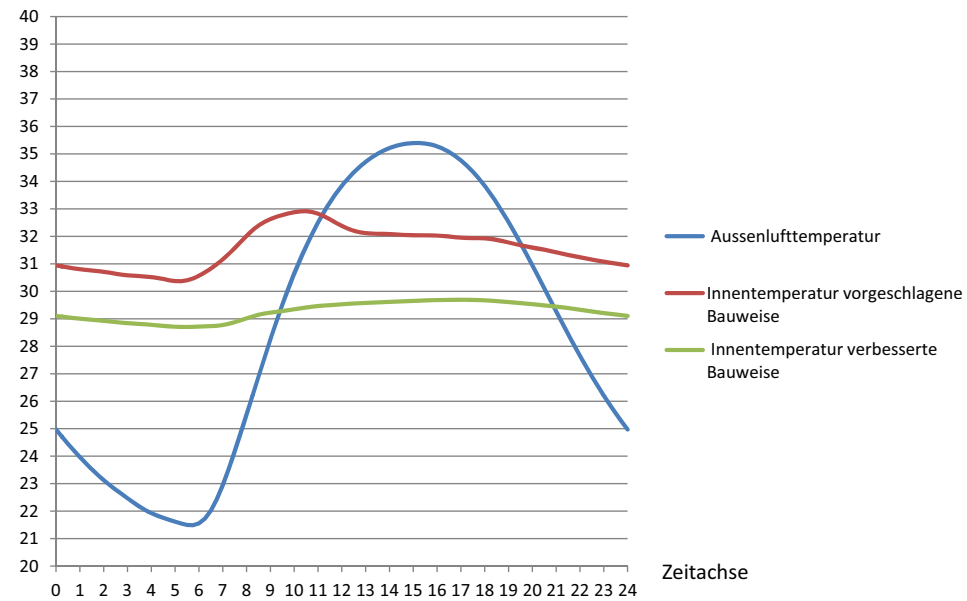
Fassade: Hell

Bewölkung: keine

Dach: verschattet



Temperaturachse



Während die Aussenlufttemperatur großen Temperaturschwankungen ausgesetzt ist, hat man im Innenbereich bei der Verwendung eines Zweifach-Wärmeschutzglas (4-15-6, AR) einen konstanten Temperaturverlauf zwischen 30 und 35 Grad, wobei die Jalousien zwischen 11.00 und 18.00 verwendet wurden. Um eine Innentemperatur von unter 30 Grad zu erlangen wurde ein Verbesserungsvorschlag durchgeführt. Dabei wurde ein Zweifach-Sonnenschutzglas (6-15-6, AR) verwendet und die Jalousien zwischen 5.00 und 19.00 eingesetzt. Im Diagramm sieht man eine wesentliche Verbesserung der Innenlufttemperatur. Durch die Benutzung von Ventilatoren schafft man ein angenehmes Raumklima und verzichtet somit auf die Klimaanlage.

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S11.
Abb.2: <http://www.immobilo.de/ratgeber/files/redaktion/planen-bauen/lehm.jpg>
Abb.3: <http://www.baukasten-tue.de/images/baukasten/lehm/lehm.jpg>
Abb.4: <http://www.solites.de/LinkClick.aspx?fileticket=U2zlejql3lQ%3D&tabid=80&mid=632&language=de-DE>
Abb.5: <http://www.solites.de/LinkClick.aspx?fileticket=U2zlejql3lQ%3D&tabid=80&mid=632&language=de-DE>
Abb.6: <http://www.solites.de/LinkClick.aspx?fileticket=U2zlejql3lQ%3D&tabid=80&mid=632&language=de-DE>
Abb.7: <http://www.voneinanderlernen.uni-kiel.de/typo3/typo3temp/pics/712735f368.jpg>
Abb.8: http://www.sandwichbau.de/bilder/artikel/7_10/Bild_07_10_02.jpg
Abb.9: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S23.
Abb.10: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S23.
Abb.11: <http://www.aegypten-spezialist.de/>
Abb.12: <http://www.urlaubplanen.org/afrika/aegypten/klima/klima-Kairo/>
Abb.13: <http://www.klima.travel/laenderliste/aegypten/kairo.html>
Abb.14: Steele, James: The Hassan Fathy Collection, A Catalogue of Visual Documents at The Aga Khan Award for Architecture, Bern 1989, S2.
Abb.15: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S131
Abb.16: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S132
Abb.17: <http://view.stern.de/de/picture/1058913/>
Abb.19: ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau, Nr.88, Aachen 1987, S36.
Abb.20: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S134
Abb.21: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S157
Abb.22: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S157
Abb.23: http://www4.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248_id_57_s_Papers.fb15
Abb.24: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S135
Abb.25: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S157
Abb.26: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S157
Abb.27: <http://ocw.mit.edu/ans/7870/4/4.615/images/16/1154.jpeg>
Abb.28: ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau, Nr.88, Aachen 1987, S44.
Abb.29: ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau, Nr.88, Aachen 1987, S45.
Abb.30: ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau, Nr.88, Aachen 1987, S45.
Abb.31: ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau, Nr.88, Aachen 1987, S39.
Abb.32: <http://images.travelpod.com/users/jimsim/1.1249467995.badgir.jpg>
Abb.33: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S186
Abb.34: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S84.
Abb.35: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S203.
Abb.36: Fathy, Hassan: Natural Energy and Vernacular Architecture, 1988, S204.
Abb.37: Mazhar, Niel: Diplomarbeit, Ein Wohnbau für die Sekem Farm in Ägypten, Wien 2007, S44.
Abb.38: Mazhar, Niel: Diplomarbeit, Ein Wohnbau für die Sekem Farm in Ägypten, Wien 2007, S44.
Abb.39: Eigenes Bildmaterial
Abb.40: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S320.
Abb.41: ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau, Nr.88, Aachen 1987, S39.
Abb.42: ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau, Nr.88, Aachen 1987, S39.
Abb.43: ARCH+, Zeitschrift für Architektur und Städtebau, Nr.88, Aachen 1987, S39.
Abb.44: <http://www.fathyheritage.com/photo-1138944-Shahira-Mehrez-apartment.-Detail-of-mashrabiyya.jpg.html>
Abb.45: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S275.
Abb.46: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S64.
Abb.47: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S239.
Abb.48: <http://www.payer.de/tropenarchitektur/trarch0264.jpg>
Abb.49: Mazhar, Niel: Diplomarbeit, Ein Wohnbau für die Sekem Farm in Ägypten, Wien 2007, S55.
Abb.50: Mazhar, Niel: Diplomarbeit, Ein Wohnbau für die Sekem Farm in Ägypten, Wien 2007, S55.
Abb.51: Mazhar, Niel: Diplomarbeit, Ein Wohnbau für die Sekem Farm in Ägypten, Wien 2007, S55.
Abb.52: Mazhar, Niel: Diplomarbeit, Ein Wohnbau für die Sekem Farm in Ägypten, Wien 2007, S55.
Abb.53: Manuskript-Adel Fahmy
Abb.54: Manuskript-Adel Fahmy
Abb.55: Manuskript-Adel Fahmy
Abb.56: http://www.dachverband-lehm.de/grafiken/technik_wand_trag_stamplflem.gif
Abb.57: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S99.
Abb.58: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S99.

Abb.59: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S105.
Abb.60: Wichmann, Hans: Architektur der Vergänglichkeit, Lehmbauten der dritten Welt, Stuttgart 1983, S207.
Abb.61: Wichmann, Hans: Architektur der Vergänglichkeit, Lehmbauten der dritten Welt, Stuttgart 1983, S208.
Abb.62: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S141.
Abb.63: <http://images.google.at/imgres?imgurl=http://touregypt.net/E0302.jpg&imgrefurl=http://touregypt.net>
Abb.64: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S232.
Abb.65: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S232.
Abb.66: <http://images.google.at/imgres?imgurl=http://touregypt.net/E0302.jpg&imgrefurl=http://touregypt.net>
Abb.67: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S233.
Abb.68: Minke, Gernot: Experimentelles Bauen, Freiburg 1995, S66.
Abb.69: Detail, Zeitschrift für Architektur+ Baudetail, Dächer-flach und geneigt, München 1+2 2009, S44.
Abb.70: Detail, Zeitschrift für Architektur+ Baudetail, Dächer-flach und geneigt, München 1+2 2009, S44.
Abb.71: http://www.bauingenieur24.de/sharedpics/pdf_diploma/1040_1.pdf
Abb.72: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S32.
Abb.73: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S60.
Abb.74: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S238.
Abb.75: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S256.
Abb.76: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S256.
Abb.77: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S257.
Abb.78: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S257.
Abb.79: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S258.
Abb.80: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S258.
Abb.81: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S257.
Abb.82: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S257.
Abb.83: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S258.
Abb.84: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S258.
Abb.85: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S259.
Abb.86: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S259.
Abb.87: Fathy, Hassan: Architecture for the Poor, An Experiment in Rural Egypt, Cairo 1989, S320.
Abb.88: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S243.
Abb.89: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S243.
Abb.90: Minke, Gernot: Lehmbau-Handbuch, Der Baustoff Lehm und seine Anwendung, Freiburg 1995², S243.
Abb.91: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S32.
Abb.92: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S32.
Abb.93: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S32.
Abb.94: Steele, James: The Hassan Fathy Collection, A Catalogue of Visual Documents at The Aga Khan Award for Architecture, Bern 1989, S2.
Abb.95: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S64.
Abb.96: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S64.
Abb.97: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S64.
Abb.98: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S43.
Abb.99: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S43.
Abb.100: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S44.
Abb.101: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S52.
Abb.102: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S52.
Abb.103: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S53.
Abb.104: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S52.
Abb.105: J.M. Richards; Serageldin, Ismail; Rastorfer, Darl: Hassan Fathy, London 1985, S71.
Abb.106: http://www.dachverband-lehm.de/de/03_baustoff/DVL_projekt_fahmy_kuppelhaus-dam.jpg
Abb.107: http://www.dachverband-lehm.de/de/03_baustoff/DVL_projekt_fahmy_marcelle+derek.jpg
Abb.108: Eigenes Bildmaterial
Abb.109: <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e50/50e.htm>
Abb.110: http://www.holidaycheck.ch/vollbild-Kairo+Dattelpalmen+unterhalb+von+Sakkara-ch_ub-id_1160919477.html
Abb.111: <http://de.wikipedia.org/wiki/Johannisbrotabaum>
Abb.112: http://de.wikipedia.org/wiki/Gartenkunst_im_Alten_%C3%84gypten
Abb.113: <http://alexsafari.net/grunes-flussufer/>
Abb.114: <http://www.1000urlaubsideen.de/individualreisen/>
Abb.115: <http://www.rarepalmseeds.com/de/pix/PhoDac.shtml>
Abb.116: <http://www.rjmkoeln.de/wa/de/index.html>
Abb.117: www.baumkunde.de