



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

DIPLOMARBEIT

Iranischer Kuppelbau

Konstruktion und Form

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs / Diplom-Ingenieurin
unter der Leitung**

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Erich Lehner

E25 I

Institut für Kunstgeschichte, Bauforschung und Denkmalpflege

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Nicky Nikousokhan-Tayar

0627347

Wien, am 04.04.2016

Kurzfassung

Als charakteristisches Merkmal des iranischen Stadtbilds sind Kuppelbauten von je her ein untrennbares Element der einheimischen Architektur. Die ältesten noch erhaltenen Exemplare stammen aus dem 3. Jahrhundert n.Chr., aus der Zeit der Sassaniden-Dynastie. Im Laufe der Zeit wurde die Bautechnik ständig weiterentwickelt und verfeinert, so dass die Architekten mit wenigen Grundelementen eine sehr große Vielfalt an Konstruktionen geschaffen haben.

Aus konstruktiver Sicht kann ein Kuppelbauwerk im Allgemeinen in drei Hauptelemente unterteilt werden: Den Unterbau, die Eckausbildung und die Kuppel selbst. Unterbauten mit einem quadratischen Raumgrundriss haben in der iranischen Architektur die längste Tradition. Eckausbildungen dienen der Überleitung von der eckigen Grundform des Raums in den Kuppelfußkreis und haben sowohl eine gestalterische, als auch eine konstruktive Rolle im Kuppelbau. Die konstruktive Rolle bezieht sich auf die Eckausbildung als tragende Auflage für die Kuppel. Aus gestalterischer Sicht dienen Eckausbildungen als Füllelemente für den freistehenden Raum hinter den konstruktiven Elementen. In den frühesten Kuppelbauten aus dem 3. Jahrhundert kann kaum eine Grenze zwischen konstruktiven und gestalterischen Elementen gezogen werden. Eine wesentliche Innovation erfolgte im 10. Jahrhundert durch die Einführung von tragenden Bögen, wodurch die gestalterischen Elemente von ihrer lasttragenden Funktion befreit wurden. Dies ermöglichte eine explosionsartige Vervielfältigung kreativer Ideen zur kunstvollen Gestaltung des Innen- und Außenraums von Kuppelbauten.

Die vorliegende Diplomarbeit stellt zuerst eine Übersicht der Entwicklung von Kuppelkonstruktionen im Iran zusammen. Es erfolgt dann eine detaillierte Untersuchung der Unterschiede in der vielfältigen Gestaltung von jeweils Kuppeln und Eckausbildungen, inklusive der wesentlichen Meilensteine in deren Entwicklung. Dabei gehen wir insbesondere auf zeitbezogene Kenntnisse der Bautechnik, sowie auf den Einfluss von geografischen Gegebenheiten und vorhandene Materialien ein. Die Kuppeln und Eckausbildungen werden auf der Basis von Fotodokumentationen und Plananalysen untersucht und klassifiziert, sowie durch den Einsatz von dreidimensionalen Darstellungen nachdokumentiert.

Abbildung 1: Shah-e-Cheragh-Moschee in Shiraz



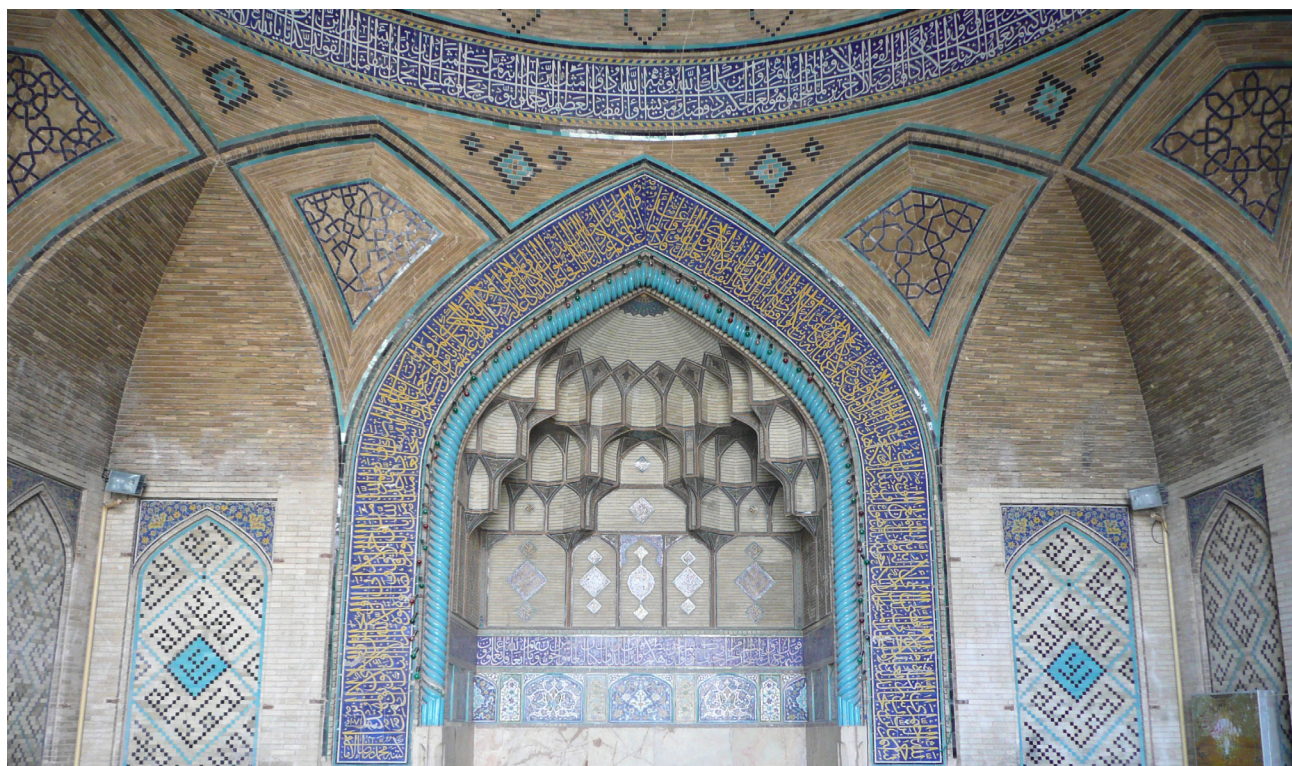
Abstract

From ancient times till today dome structures have served as a distinguishing characteristic of the Iranian townscape. As such, dome structures are an inseparable element of Iranian architecture. The oldest still preserved structures were built in the 3rd century AD, during the reign of the Sasanian dynasty. Over time and with growing sophistication of the applied engineering techniques, the architects were able to refine these structures and establish a system consisting of few basic constructive elements that can be creatively deployed to effect a large variety of construction options.

From an engineering perspective a domed structure consists of three main elements: The dome base or body, the connecting element and finally the dome itself. Traditionally, most Iranian dome structures are built on a body with a square shaped ground plan. The connecting element serves to provide a transition from the polygonal (in our case mostly square shaped) dome base to the spherical dome. The squinch has an artistic or decorative role, but also a constructive or engineering role in the building. The engineering role consists of being a platform that can sustain the weight of the dome. From an artistic perspective, it serves to fill the empty space that is inevitably created in a transition zone when a spherical dome is set on top of a polygonal base. It is impossible to distinguish between the engineering and artistic roles in the early dome structures from the third century AD. A major innovation that happened in the 10th century AD was the introduction of the load-bearing arch that made it possible to separate the artistic from the engineering aspect of the squinch. This led to an explosive spread of creative ideas for the decorative design of a dome structure's interior and exterior space.

This thesis begins with an overview of the development of dome structures in the Iranian architecture. Subsequently it provides a detailed analysis of the differences in construction of the dome and the connecting elements, respectively. This includes the main historical milestones of their development. In particular, we shall discuss the construction techniques in the context of their time, as well as consider the influence of geographical circumstances and available building material. The domes and squinches will be classified based on photographic evidence and analysis of construction plans and documented with three-dimensional illustrations.

Abbildung 2: Hakim-Moschee in Isfahan



Inhaltsverzeichnis

Die geschichtliche Entwicklung des Kuppelbaus	9
Die Entwicklung der Kuppeltechnik	10
Die Hauptelemente von Kuppelbauwerken	11
Kuppelunterbau - Überführung eines quadratischen Grundriss in die Kreisform	11
Historische Entwicklung der Kuppelkonstruktion	13
Einschalige Kuppeln	13
Statische Betrachtung	13
Variationen der Schalenform	14
1. Sassaniden-Schalenform	14
2. Khagi- oder Holuchin-Kond-Schalenform	15
3. Chilo-Schalenform	15
4. Basto-Schalenform	16
5. Sabuyi-Schalenform	16
Die Bauausführung der einschaligen Kuppeln	17
Zweischalige Kuppeln mit geringem Schalenabstand	18
Shabdari Tond	19
Shabdari Kond	19
Shabdari Sadeh	20
Tarkin-Kuppel	21
Zweischalige Kuppeln mit großem Schalenabstand	25
Rok-Kuppeln	25
Nar-Kuppeln	31
Dreischalige Kuppel	35
Historische Entwicklung der Eckausbildungen	36
Eckausbildung in der vorislamischen Zeit	40
Ausführungen in Holz	40
Filpuschtrömpe	44
Überwölbung mit Filpuschtrömpe	47
Eskonj ohne Taghbandi	48

Eckausbildungen in der islamischen Zeit	51
Patkintrompe	51
Patkanehtrompe	56
Frühe Beispiele der Patkaneh-Entwicklung	60
1. Samaniden-Mausoleum	60
2. Jurjir-Portal	65
3. Freitagsmoschee von Nain	67
Weiterentwickelte Form der Patkanehtrompe	69
1. Zwölf-Imame-Mausoleum	69
2. Die Freitagsmoschee in Isfahan	74
3. Freitagsmoschee von Golpayegan	80
4. Freitagsmoschee von Varamin	84
Eskonj mit Taghbandi	88
1. Freitagsmoschee von Abhar	88
2. Mausoleum des Rokn-al-Din	92
Sonderform der Eckausbildung mit Taghbandi	96
Karbandi	99
Karbandi als Überwölbung	100
Karbandi als Eckausbildung	103
Epilog	110
Glossar	111
Bibliographie	114
Abbildungsverzeichnis	117

Die geschichtliche Entwicklung des Kuppelbaus

Sowohl im vorislamischen Zeitalter, als auch nach dem Einzug des Islams als Staatsreligion zählten Kuppelbauten zu jenen Bauwerken, die das äußere Bild iranischer Städte am meisten prägten. Ihre religiöse Dimension gewannen sie aus der Versinnbildlichung von Kuppeln als Repräsentation des Himmelsgewölbes, aus dessen Zentrum alles entspringt und den Menschen auf der darunterliegenden Erde schützt. Überlieferungen zufolge ist die Wahl von Unterbauten mit quadratischem Grundriss auf den Glauben zurückzuführen, dass das Himmelsgewölbe von den vier natürlichen Grundelementen Feuer, Wasser, Erde und Wind aufrechterhalten wird [MEM-2-2012: S.373]. Diese religiöse Bedeutung hat sich auch in der islamischen Ära fortgesetzt und führte zur Überleitung des Vierecks in ein Achteck. In dieser Interpretation steht die Kuppel als Abbild des Himmels, welche die Macht Gottes repräsentiert und von 8 Engeln getragen wird [MEM-2-2012: S.401]. In dieser Periode wurden die Kuppeln oft mit einer Lichtquelle versehen, als Erinnerung an die göttliche Anwesenheit und die Universalität der islamischen Lehre.

Kuppelbauten hatten aber nie eine ausschließlich religiöse Bedeutung. Sie waren auch Teil mancher Palastarchitektur und repräsentierten die Macht und Größe des Herrschers, wurden aber auch in öffentlichen Bauten wie Markthallen und Badehäusern eingesetzt. Im Zusammenspiel mit dekorativen Fliesenarbeiten hat man an der Innenschale dieser Bauten bunte geometrische Formen, grüne Naturlandschaften mit bunter Flora und reichhaltiger Fauna visualisiert.

Die Entwicklung der Kuppeltechnik

Im Iran der Achämeniden (6. bis spätes 4. Jh.v.Chr.) und Arsakiden (3. Jh.v.Chr. bis 3. Jh.n.Chr.) sind vorwiegend flache Raumabdeckungen aus Holz überliefert. Ein Beispiel dafür ist die altpersische Residenzstadt Persepolis. Erst gegen Ende der Arsakiden- und verstärkt ab der darauffolgenden Sassaniden-Dynastie wurden Räume mit runden Gewölben versehen. Dieser Übergang in

der Überdeckung kann maßgeblich auf natürliche und wirtschaftliche Gründe zurückgeführt werden. Wegen des vorwiegend trockenen Klimas war Holz ein rares und daher teures Gut, das nur sparsam als Baustoff eingesetzt werden kann. Die regionalen iranischen Hölzer besitzen eine zu geringe Biegefestigkeit für große Spannweiten. Die standardisierte Länge dieser Hölzer liegt meist bei Spannweiten zwischen 2,5m und 3m [PIR-1999: S.89]. Deswegen wurden beispielsweise die Holzbalken des Palastkomplex in Persepolis aus dem Gebiet des heutigen Libanon importiert. Das war wegen des großen Reichtums des damaligen Persischen Reichs möglich; dieser Reichtum stand aber den Nachfolgern nicht mehr in gleichem Ausmaß zur Verfügung. Daher wurden Deckenkonstruktionen zunehmend mit dem Material gebaut, welches lokal zur Verfügung stand: Stein und Lehmziegel.

Ein weiterer Grund kann aber in der Einschränkung der Raumgestaltung durch die Anwendung von Holzbalken gesucht werden. Solche Konstruktionen benötigten oftmals viele Stützen. Das zuvor erwähnte Beispiel von Persepolis, der auch als „Palast der 100 Stützen“ bekannt war, verdeutlicht das Problem. Die Architekten entdeckten, dass sich gewölbte Konstruktionen viel besser zur stützungsfreien Überdeckung großer Räume eignen.

Die Kuppel ist eine Sonderform der Gewölbe, welche durch Rotation einer Bogenform um ihre vertikale Achse entsteht. Iranische Architekten haben im Laufe der Zeit Kuppeln mit verschiedenen Materialien und Techniken gebaut und dabei mit dem Kontrast zwischen äußerer und innerer Gestaltung eine ästhetische Wirkung erzielt, die Kuppeln als stadtprägende Wahrzeichen etablierten. Die Verfeinerung der Konstruktion erreichte in der Seldschuken-Dynastie (1040–1194 n.Chr.) ihren Höhepunkt.

Die Hauptelemente von Kuppelbauwerken

Ein Kuppelbauwerk setzt sich im Allgemeinen aus drei Hauptelementen zusammen, wie in Abbildung 1 veranschaulicht:

a. Der Unterbau: Im wesentlichen durch die Wände des überwölbten Raums gebildet, leitet sich der Grundriss des Unterbaus vorwiegend von einem Quadrat ab.

b. Eckausbildung: Die Kuppel benötigt eine Unterkonstruktion, die eine harmonische Verbindung zwischen den Unterbauwänden und die Kuppel selbst herstellt. Abhängig vom Entwicklungsstand der Bautechniken und den verfügbaren Baumaterialien haben sich im Laufe der

Geschichte vielfältige Formen für diese Übergangselemente ergeben.

c. Die Kuppel: Für dieses wohl augenfälligste Element des Bauwerks hat sich im Laufe der Zeit eine sehr große Vielfalt an Formen und Bautechniken herausgebildet.

In den nun folgenden Abschnitten werden wir uns jedem dieser Elemente getrennt zuwenden und dessen geschichtliche Entwicklung mit einem Fokus auf angewandte Bautechniken und erzielte Gestaltungsformen nachzeichnen. Der Eckausbildung, als Bindeglied zwischen den beiden anderen Elementen kommt hinsichtlich der gestalterischen Möglichkeiten eine besondere Bedeutung zu. Dementsprechend wird sie besonders ausführlich analysiert.



Abbildung 3: Elemente der Kuppelbautechnik:
a. Unterbau,
b. Eckausbildung,
c. Kuppelkonstruktion

Kuppelunterbau - Überführung eines quadratischen Grundriss in die Kreisform

In der einfachsten Ausführung werden Kuppeln auf Unterbauten mit kreisförmigem Grundriss aufgesetzt. Solche Fälle treten allerdings äußerst selten auf. Gerade in der iranischen Architektur handelt es sich um Unterbauten mit quadratischem bis hin zu leicht rechteckigem Raumgrundriss.

Iranischen Kuppeln wurden als Innenkreiskuppeln ausgebildet. Unter Innenkreiskuppel versteht man Kuppeln, die über einer quadratischen Basis gebaut werden, wobei dem Quadrat des Grundrisses der Basiskreis der Kuppel einbeschrieben wird, d.h. der Durchmesser des Basiskreises gleich der Seitenlänge des quadratischen Unterbaus ist. So entstehen Fehlstellen über den Ecken des Quadrates.

Diese Fehlstellen werden durch zusätzliche Konstruktionen am Fußring der Kuppel beseitigt, die sich als

unterschiedlich gestaltete Elemente in den Raumecken manifestieren.

In der vorislamischen Zeit erfolgte zuerst eine Überführung des quadratischen Raumes in ein 8-Eck. Zur Bildung des 8-Ecks werden die Kanten des Quadrats im Verhältnis 1:3:1 aufgeteilt. Im nächsten Schritt werden die kleinen Dreiecke, and den Ecken des Quadrats, die durch die Verbindung benachbarter Kantenteile entstehen abgeschnitten. Die Eckelemente des 8-Ecks werden nach oben hin zusammengezogen, ähnlich wie die verflochtenen Windungen eines Korbs [PIR-1999: S.93].

Die Weiterentwicklung in islamischer Zeit zeichnet sich durch die Gestaltung dieses Übergangs (Quadrat- zur Kreisform) nach strengen geometrischen Regeln aus. Die Architekten setzten auf eine schrittweise Überführung der Formen, indem der Raumgrundriss zuerst in ein 8-Eck, dann ein 16-Eck und schließlich ein 32-Eck umgewandelt wird. Damit erreichten sie eine statisch und formal günstigere Grundlage für den Kuppelkreis. Hinter dem entstehenden 8-Eck verbleibt ein nischenartiger Freiraum unmittelbar über den Ecken des Quadrats, den eine Kragkonstruktion zum Teil ausfüllt.

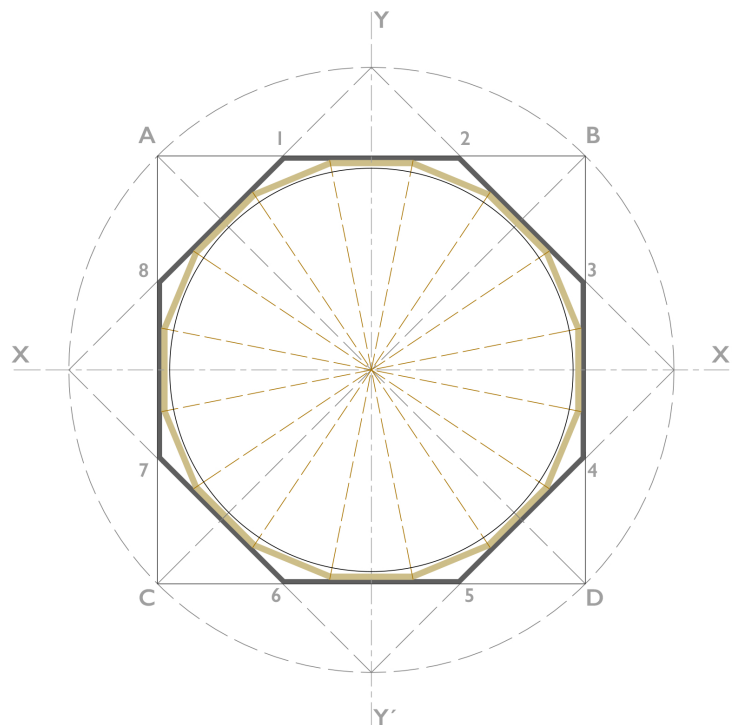


Abbildung 4: Überleitung vom Quadrat ABCD zunächst in ein 8- und dann ein 16-Eck

Im Laufe der Geschichte haben Baumeister unterschiedliche Techniken zur Ausfüllung dieser Nischen angewandt, welche in späteren Kapiteln genauer beschrieben werden. Dabei ist man zunehmend zu gleichschenkeligen 8-Ecken übergegangen, indem das Grundquadrat gedanklich dupliziert und die beiden um 45 Grad verdreht übereinandergelegt wurden, wodurch die Schnittfläche ein 8-Eck ergibt.

In den seltenen Fällen eines rechteckigen Grundrisses erfolgt der Übergang zunächst in ein 6-Eck, dann ein 12-Eck, bis schlussendlich eine Ovalform entsteht. Das Verhältnis der Kantenlängen des Rechtecks muss einen solchen Übergang gewährleisten. Dies ist beispielsweise bei einem Verhältnis von 1 : 0,75 der Fall. Kuppeln mit ovalem Unterbau werden „Kombize-Kuppel“ genannt.

Es wurden bis jetzt nur zwei Beispiele von Kombize-Kuppel gefunden. Eins davon befindet sich in der Moschee von Rajab-Ali aus dem Jahr 1800 in Tehran in der Nähe des Basars. Sie zählt zu den ersten Kuppeln mit einem ovalförmigen Kuppelfuß. Die Moschee ist renovierungsbedürftig und wird nicht mehr benutzt.



Abbildung 6: Rajab-Ali-Moschee in Tehran mit Kombize-Kuppel

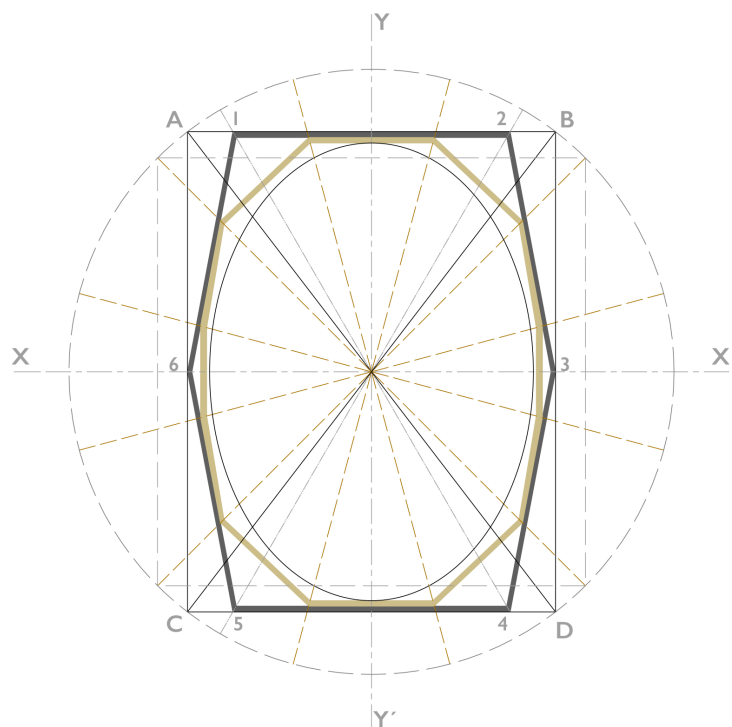


Abbildung 5: Übergang vom Rechteck ABCD zunächst in ein 6- und dann in ein 12-Eck

Historische Entwicklung der Kuppelkonstruktion

Einschalige Kuppeln

Die ersten einschaligen Kuppeln wurden in der vorislamischen Zeit, ab dem Ende der Arsakiden- und in der Sassaniden-Dynastie konstruiert. Sie bestehen aus einer einzigen tragenden Schale ohne eine zusätzliche Schutzschale. Zur Belichtung des Innenraums wurde oftmals eine Öffnung im Kuppelscheitel eingesetzt.

In ihrer weiteren Entwicklung wurden diese Kuppeln ab dem 10. Jahrhundert mit einer Schutzschicht versehen, um eine größere Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Diese Schutzschicht, zunächst aus dünnem Holz, dann aus Stein und später aus Ziegel, wurde auf der Kuppel bündig angebracht. Dadurch können die zwei Elemente (Kuppel und Schutzschicht) als eine einheitliche Schale angesehen werden, deren Innenelement die tragende Funktion übernimmt und das Außenelement dem Schutz vor klimatischen Einflüssen dient. Die der Belichtung dienenden Öffnung im Kuppelscheitel wurde zudem zum Schutz des Kuppelraums vor Witterung geschlossen und durch Öffnungen in den seitlichen Übergangselementen zur Kuppelbasis ersetzt.

Statische Betrachtung

In der iranischen Bautechnik fängt die Krümmung der Kuppelschale nicht direkt auf der Übergangszone an. Es wird zunächst eine Erhöhung der Kuppelbasis erzeugt, indem eine zylindrische Form auf dem Kuppelfußkreis über die Übergangszone konstruiert wird; erst dann setzt die Krümmung, bzw. Wölbung der Kuppel an. Dieser vertikale Teil, der durch eine Erhöhung der Kuppelbasis entsteht, und auf Persisch „Paraste“ genannt wird, führt zu einer verbesserten Abtragung des Kuppelschubs [PIR-1992: S.106].

Zur Optimierung des Tragverhaltens der einschaligen Kuppeln setzten iranische Baumeister insbesondere zwei Bautechniken ein:

- Vertikale Verjüngung der Innenschale: Die Innenschale der Kuppel verjüngt sich von unten nach oben, wodurch ein nicht nur ein statisches, sondern auch wirtschaftliches Optimum erreicht wird. Die mit dieser Bauweise verbundenen Materialersparnis führt zur Gewichtsreduzierung und zur tieferen Verlagerung des Schwerpunkts, sowie zum optimierten Druckausgleich. Die Dicke der Innenschale wird an ihrer untersten Stelle auf der Paraste mit einem Verhältnis von 1/16 des Kuppeldurchmessers angesetzt. Die Verjüngung erfolgt in drei Schritten zu drei feststehenden, gleichen Winkeln am Schalenumfang. Die Winkelgröße beträgt 22,5° und ergibt sich aus der Vierteilung des 90°-Winkels zwischen Scheitel und Kuppelbasiskreis. Alle 22,5°, d.h. bei einem Winkel von 22,5°, 45° und 67,5° wird die Schalendicke um einen Ziegel reduziert. Die Innenkuppel erhält damit eine abgestufte Form [KAS-1987: S.104].

- Innenschale als Rotationsellipsoid: Um ein besseres Tragverhalten der Kuppel zu erreichen, wurde häufig ein eierförmiges Profil für die Innenschale gewählt. Je grösser der zu erzielende Kuppeldurchmesser, umso stärker wurde auch das Ei-Profil ausgeprägt, bis hin zu einer Spitzform.

Diese zwei Techniken wurden auch miteinander kombiniert.

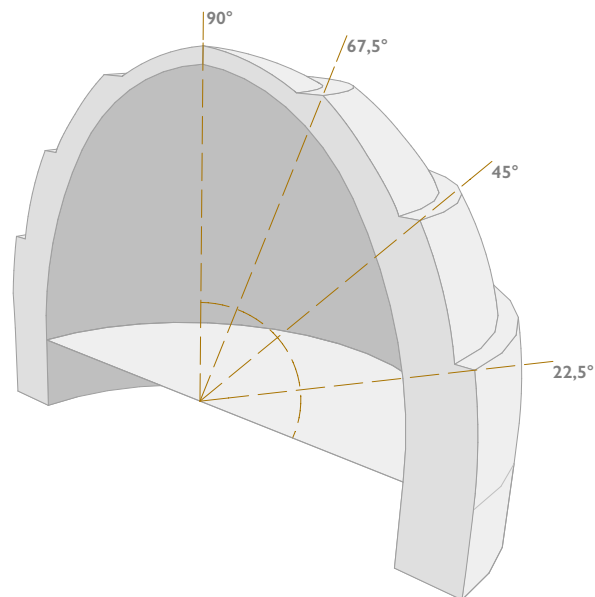


Abbildung 7: Verjüngen der inneren Kuppelschale

Variationen der Schalenform

Die bis zum 9. Jahrhundert gebauten Kuppeln wurden mit einer konischen Form konstruiert. Erst ab dem 10. Jahrhundert versuchten die Baumeister die Kuppeln einer Kugelform anzunähern, indem sie die Kuppelsteigung reduzierten. Die Steigung der Kuppel ergibt sich aus dem Verhältnis der Höhe (senkrechte Entfernung vom Scheitel zum Basiskreis) zum Durchmesser des Basiskreises. Die angestrebten Steigungen wurden anhand der alten Längenmaßeinheiten Gereh und Gaz angegeben. Ein Gaz ist 106,6cm lang und wird in 16 Gereh unterteilt. Somit ist ein Gereh 6,66cm. In der vorislamischen Zeit hatten Kuppeln eine Steigung von 2 Gereh pro Gaz; danach sind die Kuppeln mit einer Steigung von 1 Gereh pro Gaz deutlich rundlicher geworden. Nur bei Basiskreisdurchmesser über 16 Gaz sind die Baumeister auf 2 Gereh pro Gaz zurückgegangen [PIR-1999: S.96].

- Steigung der Kuppeln in der vorislamischen Zeit = 13,32cm pro 106,6cm
- Steigung der Kuppeln in der islamischen Zeit = 6,66cm pro 106,6cm

Im Laufe der Geschichte haben einschalige Kuppeln sowohl in ihrer Ausführung als eigenes Bauwerk als auch als untere Schale bei zweischaligen Kuppeln unterschiedliche Formen angenommen, können aber insgesamt fünf Kategorien zugeordnet werden, die jeweils durch die Rotation fünf unterschiedlicher Wölblinien um die eigene vertikale Achse charakterisiert werden. Diese Kategorien sind zu unterschiedlichen Zeiten aufgekomen, bzw. wurden in bestimmten Zeiträumen mit unterschiedlicher Bevorzugung eingesetzt. Sie werden im Folgendem im Detail beschrieben.

I. Sassaniden-Schalenform

Diese Schalenkonstruktion bezieht ihren Namen aus dem Umstand, dass sie ausschließlich in Kuppelbauten der Sassaniden-Ära zum Einsatz kam. Auch hier wurde das Konzept der Verjüngung der Schalendicke angewandt, allerdings mit dem Unterschied, dass hier nur in zwei Schritten nach oben hin bei 45° und 75° abgestuft wurde.

Um die Wölblinie der tragenden Kuppelschale zu ermitteln, geht man wie im Folgenden aufgezählt, und in Abbildung 5 veranschaulicht, vor:

1. Die Punkte A und B sind durch die Kuppelspannweite vorgegeben; sie werden miteinander verbunden und der Mittelpunkt M bestimmt. Die Strecken AM und MB werden nochmals halbiert, wodurch c und c' feststehen.
2. Auf der Hauptachse der Kuppel (senkrechte Linie zum Durchmesser des Kuppelbasiskreises, durch den Punkt M) wird der Punkt z so ermittelt, dass sein Abstand zu M gleich ist mit Mc bzw. Mc'.
3. Es werden zwei Halbkreise jeweils mit dem Mittelpunkt c bzw. c' und einem Radius gleich cz bzw. c'z gezeichnet. Diese Halbkreise schneiden die verlängerte Linie AB und den Punkten a und b.
4. Die innere Wölblinie erhält man, indem nochmals zwei Kreise gezeichnet werden, diesmal mit Mittelpunkt a bzw. b und Radius aB bzw. bA. Diese Kreise schneiden sich über den Punkt M am Kuppelscheitel.
5. Zur Bestimmung des Punkts, an dem die erste Abstufung erfolgt, verbindet man die Punkte (a, z) und (b, z) und verlängert die Linie bis zum Schnittpunkt P und P' mit den zuvor ermittelten Wölblinien.
6. Die Linien Mc und Mc' werden halbiert und durch die Mittelpunkte jeweils eine Parallele zur Hauptachse gezogen. Die neuen Linien schneiden aP' und bP an den Punkten d und d'.
7. Die Verlängerung von c'd und c'd' ergibt an die Schnittpunkte mit der Wölblinie an Q und Q'. An diesen zwei Punkten erfolgt die zweite Abstufung.

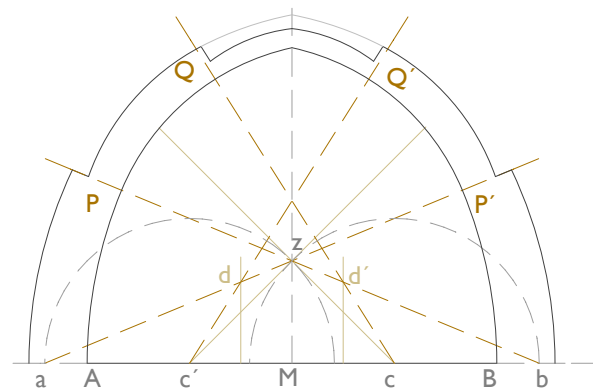


Abbildung 8: Geometrische Darstellung einer Sassaniden-Schalenform

Ein Beispiel einer nach diesem Konzept gebauten Kuppel befindet sich in Firouzabad-Palast. Hier wurde eine Öffnung im Kuppelscheitel vorgesehen. In der Sassanidenzeit wurden auch andere Schalformen wie Chilo (Holuchin Tond) benutzt [KAS-1987: S.69].

2. Khagi- oder Holuchin-Kond-Schalform

Der Begriff Khagi bezeichnet auf Persisch eine Form, die dem Profil eines Eies angenähert ist.

Die rundliche Form wird entworfen, indem eine Ellipse mit Brennpunkt Abstand gleich dem Radius des Kuppelbasiskreises ermittelt wird, wobei deren Nebenachse (AB) den Durchmesser des Kuppelbasiskreises bildet. Das ist auch in Abbildung 6 veranschaulicht. Die Brennpunkte werden durch F_1 und F_2 dargestellt. Zur Ermittlung der Ellipse wurde die folgende Vorgangsweise eingeschlagen:

1. Der Abstand AF_1 entspricht die Länge der großen Halbachse und somit der Kuppelhöhe. Die Kuppelspitze wird durch den Punkt C dargestellt.
2. Ausgehend vom Mittelpunkt M werden Linien mit 15 Grad Versetzung radial nach Außen gezeichnet.
3. Es werden zwei Kreise mit Mittelpunkt M gezeichnet, jeweils mit dem Radius MC und MA.

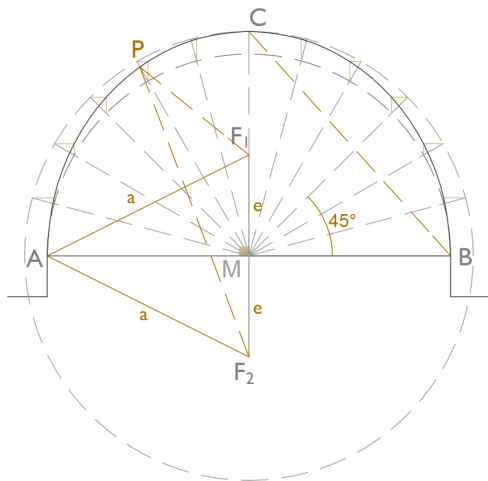


Abbildung 9: Geometrische Darstellung einer Khagi- oder Holuchin-kond-Schalform

4. Die Schnittpunkte dieser Kreise mit den radialen Linien werden festgehalten.

5. Ausgehend vom Schnittpunkt einer Radiale mit dem größeren Kreis wird eine horizontale Linie gezeichnet. Vom Schnittpunkt der Radiale mit dem kleineren Kreis wird eine vertikale Linie gezeichnet. Der Schnittpunkt dieser zwei Linien liegt auf der zu ermittelnden Ellipse.

Auf diese Weise werden die 13 Punkte der Ellipse ermittelt, die nun schließlich miteinander verbunden werden [PIR-1992: S.107].

Auf Persisch ist diese Form auch unter dem Namen „Holuchin Kond“ bekannt. Sie kommt vorwiegend in Kuppelbauten aus der vorislamischen Zeit vor; danach wurde sehr selten nach dieser Form gebaut. Ein Beispiel hierfür ist die Tadj-al-Mulk-Kuppel, die im 11. Jahrhundert zur Zeit der Seldschuken in Isfahan gebaut wurde.

3. Chilo-Schalform

Ein Längsschnitt durch den Kuppelscheitel zeigt den Ausschnitt einer Ellipse, deren Brennpunkt Abstand gleich dem Durchmesser des Kuppelfußkreises (Bogen-spannweite) ist. Diese Konstruktion ermöglicht eine höhere Lastabtragung, wodurch sie vor allem bei

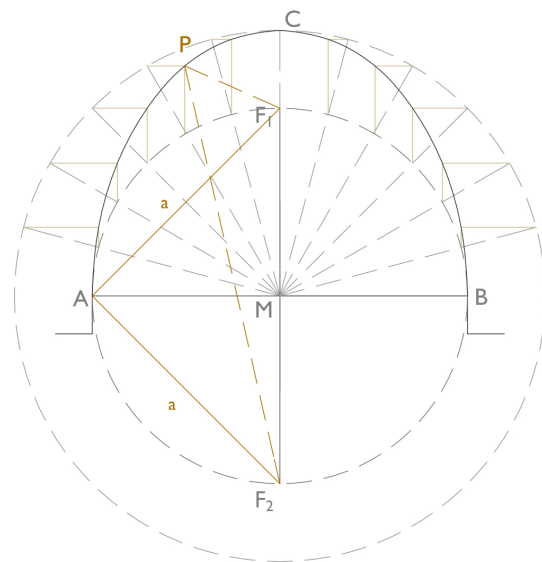


Abbildung 10: Geometrische Darstellung einer Chilo- oder Holuchin-Tond-Schalform

Kuppeln mit Bogenspannweiten über 16 Gaz (ca. 17m) Verwendung fand.

Ein oft verwendeter alternativer Name für diese Konstruktion ist „Holuchin Tond“. Sie wurde häufig in Wüstenregionen wie Yazd, Kerman und dem südlichen Khorasan aus Mangel an geeigneten Baumaterialien durch den Einsatz von Lehmziegel eingesetzt.

Ein Beispiel aus der vorislamischen Zeit für diese Schalenform ist der Sarvestan-Palast, gebaut in der Sassanidendynastie. Ab dem 11. Jahrhundert finden wird diese Form zunehmend bei der inneren Schale von zweischaligen Kuppeln, beispielsweise in dem Rokn-al-Din-Mausoleum in Yazd [PIR-1992: S.107].

4. Basto-Schalenform

Bei dieser elliptischen Form ist der Abstand der zwei Brennpunkte gleich $\frac{8}{6}$ des Durchmessers des Kuppelbasiskreises. Die weiteren Schritte zur Ermittlung weiterer Punkte auf der Kuppelschale erfolgen analog zu den vorangegangenen Beispielen.

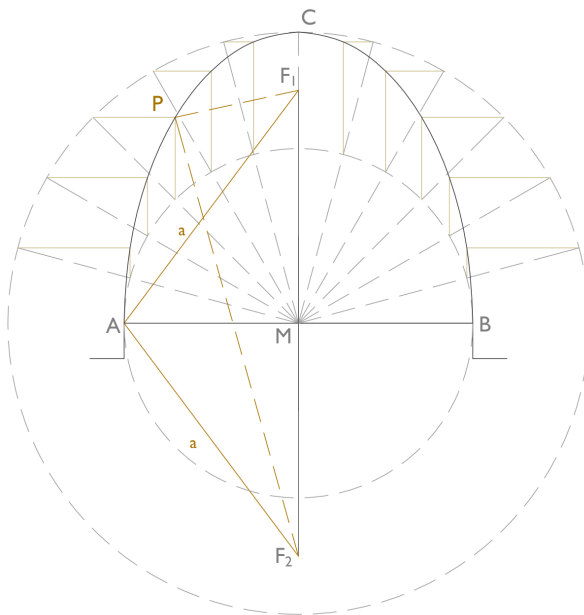


Abbildung 11: Geometrische Darstellung einer Basto-Schalenform

Die Basto-Form hat eine im Vergleich zu den anderen Formen höhere Steigung und wurde oft als Innenschale von Kuppeln mit einer Rok-Außenschale verwendet. Eine weitere häufige Verwendung dieser Form war als Überwölbung traditioneller Kühlräume, die auf Persisch „Yachtschal“ genannt werden.

Ein Beispiel einer solchen Schale ist das im frühen 11. Jahrhundert erbaute Mausoleum in Gonbad-e Qabus [KAS-1987: S.68].

5. Sabuyi-Schalenform

Diese Schalenform bildet ein Gewölbe mit einem spitzwinkligen Scheitelpunkt oder ein Spitzbogengewölbe. Im Vergleich zu den vorangegangenen runden oder elliptischen Gewölben besitzen Spitzbogengewölbe eine höhere Tragfähigkeit und wurden daher zur Errichtung größerer Bauwerke bevorzugt verwendet.

Ein Beispiel für den Einsatz einer solchen Schalenform kann in der aus dem 14. Jahrhundert stammenden Freitagsmoschee von Yazd gefunden werden.

Die Sabuyi-Schalenform entsteht durch die Überlagerung zweier Ovale, die sich in einem Punkt treffen und damit eine spitze Wöblinie bilden. Das Verhältnis der Hälfte der Bogenspannweite (AM oder BM) zur Höhe des Scheitelpunkts (CM) beträgt $\frac{3}{4}$. Die Verbindungslinie AB wird in beiden Richtungen um die Hälfte der Bogenspannweite verlängert, um die Punkte a und b zu finden. Dann werden zwei Ellipsen mit jeweils einer Hauptachse aB und Brennpunkte F und F1 auf einer Seite, und mit einer Hauptachse Ab und Brennpunkte F und F2, gebildet. Dadurch ergibt sich die Wöblinie ACB [PIR-1992: S.109].

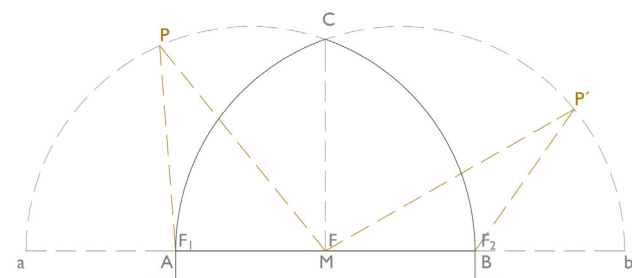


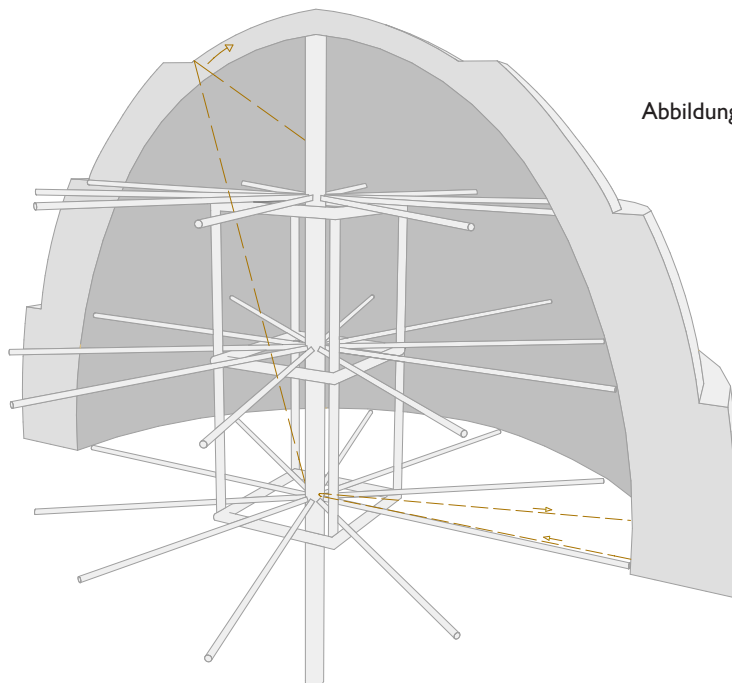
Abbildung 12: Geometrische Darstellung einer Sabuyi-Schalenform

Die Bauausführung der einschaligen Kuppeln

Das Konstruktionsprinzip des iranischen Kuppelbaus folgte dem Bestreben, möglichst keine Schalung zu benötigen. Die Kuppeln werden oftmals im waagrechten Ringschichtenverband von außen gebaut.

Die Bauausführung erfolgt mit einfachen Hilfskonstruktionen aus Holzbalken. Nach Auswahl der gewünschten Kuppelform aus den zuvor beschriebenen Ovalformen erfolgt die Konstruktion, indem im ersten Schritt in der Mitte des Kuppelsaals eine vertikale Holzstütze aufgestellt wird. Diese Stütze wird auf Persisch „Schahang“ genannt und korrespondiert mit der Hauptachse der Ellipse. Meist werden mehrere Stützen miteinander längs verbunden, um die gewünschte Höhe zu erreichen.

Damit das Schahang stabil bleibt, wird es auf der Höhe des Kuppelkreises und dann je nach Baufortschritt in regelmäßigen Abständen darüber mit 8 bis 10 horizontal ausgehenden dünnen Holzbalken, die „Hanjar“ genannt werden, an der Kuppelschale befestigt.



Im nächsten Schritt werden die zwei Brennpunkte der Ellipse ermittelt und an dem Schahang mit Nägeln markiert.

Die zwei Brennpunkte werden nun über eine dünne Kette miteinander verbunden, deren Länge so ausgewählt wird, dass sie im angespannten Zustand bis zum Anfangspunkt der Wölbung reicht [PIR-1999: S.94].

Der Kerneigenschaft der Ellipse zufolge, nämlich, dass die Summe der Abstände von jedem Punkt bis zu den zwei Brennpunkten immer gleich ist, werden durch das weitere Ziehen der Kette die weiteren Punkte der Kuppelwölbung ermittelt.

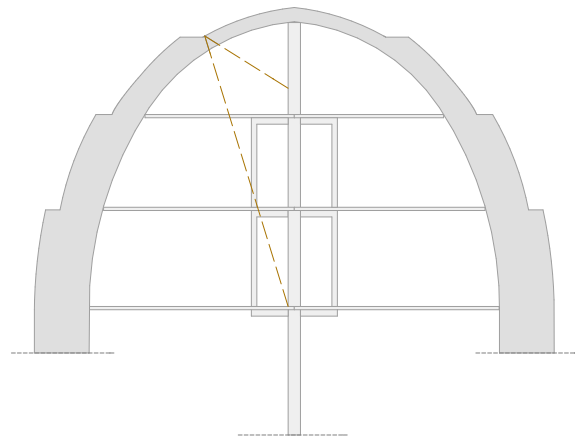


Abbildung 14: Schnitt durch eine einschalige Kuppel

Abbildung 13: Konstruktion von einschaligen Kuppeln durch Schahang (vertikale Holzstütze) und horizontale Holzbalken

Zweischalige Kuppeln mit geringem Schalenabstand

Die im vorigen Kapitel beschriebenen Schutzschalen bei einschaligen Kuppeln waren unabhängig vom architektonischen Aspekt der Kuppeln. Sie dienten lediglich als Schutzschicht über dem eigentlichen Schalenbauwerk. Ab dem elften Jahrhundert begann diese Schicht eine eigene konstruktive und gestalterische Rolle im Kuppelbau zu gewinnen. Mit dem zunehmenden Streben nach Perfektionierung der äußeren Form erhielt diese Schutzschicht auch eine kuppelförmige Gestalt. Damit entwickelt sich eine Kuppelkonstruktion mit zwei selbstständigen, voneinander abgesetzten Schalen.

Die innere Schale übernimmt die tragende Funktion und wurde nach einer der bei einschaligen Kuppeln üblichen Formen gebaut. Bis zum 13. Jahrhundert hat man eher elliptische Formen gewählt. Ab dem 14. Jahrhundert hat man die innere Schale mehr nach der Sabuyi-Form mit einem Spitzwinkel gebaut. Diese Entwicklung kann in zahlreichen Freitagsmoscheen beobachtet werden.

Die äußere Schale funktioniert nicht nur als Schutz gegen Witterung und zur Abdeckung der treppenartigen Form der Innenschale, sondern als unabhängiges konstruktives Gewölbe mit der Wölblinie eines Spitzbogens. Dieser Spitzbogen wird auf Persisch „Shabdari“ genannt. Er kommt in drei Ausführungen mit überhöhtem

Spitzprofil (Shabdari Tond); mit gedrücktem Spitzprofil (Shabdari Kond), und mit gewöhnlichem Spitzprofil (Shabdari Motevaset) vor.

Neben der Überlegung, die Tragfähigkeit durch die zweischalige Ausbildung noch weiter zu erhöhen, strebten die Baumeister danach, durch den Abstand zur inneren Schale die zweite Schale erheblich höher zu bauen und damit die Wirkung als stadtprägendes Wahrzeichen noch mehr Nachdruck zu verleihen. Darüber hinaus bieten diese Zwischenräume den Vorteil einer Temperaturisolierung zwischen Innen- und Außenraum [MEM-2-2012: S.459].

Die zwei Kuppelschalen konvergieren an der Basis. D.h. sie sind am Anfang ihre Wölbung bis zum Winkel von $22,5^\circ$ miteinander verbunden. Ab diesem Winkel trennen sich die beide Schalen. Daraus geht hervor, dass die Unabhängigkeit der beiden Schalen relativ zu sehen ist. Stürzt eine Schale ein, ist die Stabilität der anderen natürlich auch betroffen [ZOM-2011: S.322].

Eines der frühesten Beispiele von konvergierenden zweischaligen Kuppeln befindet sich in der Freitagsmoschee von Ardestan aus dem 12. Jahrhundert. Diese Art der Kuppelkonstruktion hat sich in den folgenden Jahrhunderten ausgebreitet und wurde bis zum 14. Jahrhundert oftmals angewandt. Ein Beispiel für ihre spätere Anwendung ist das Mausoleum von Rokn-al-Din in Yazd aus dem 14. Jahrhundert.

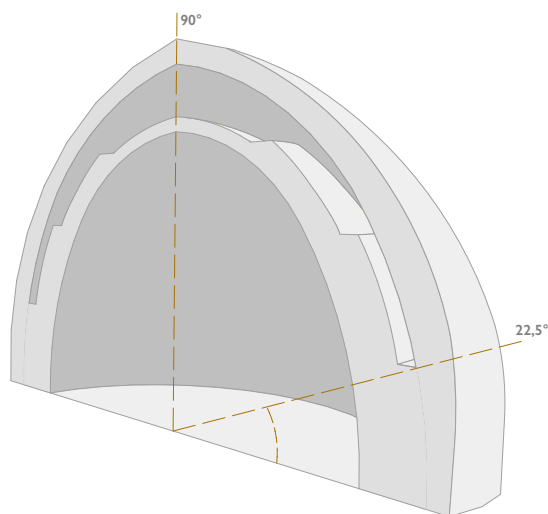


Abbildung 15: Konvergierende zweischalige Kuppeln



Abbildung 16: Rokn-al-Din-Mausoleum in Yazd

Shabdari Tond

Zur Konstruktion wird zunächst ein Kreis mit dem Durchmesser „AB“ gezeichnet. Die Länge AB wird so gewählt, dass der Kuppelbasiskreis den Durchmesser „ab“ hätte, wobei die Punkte a und b um den Winkel 15 Grad am gezeichneten Kreis unter jeweils A und B liegen. Der Kreis wird nun ausgehend von den Punkten A und B in 12 gleiche Teile aufgeteilt. Das ergibt 12 Kreisseiben mit Winkel von 30° . Die Bögen AQ und BQ' sind Teil der Kuppelwölbung. Um die Wölblinie zu vervollständigen, werden die Punkte Q und Q' mit ihren am Kreis jeweils gegenüberliegenden Punkten F' und F verbunden. Die Strecke FQ' bildet nun den Radius eines größeren Kreises; das Gleiche gilt auch für F'Q. Diese zwei Kreise schneiden sich im Punkt D – der Kuppelscheitel. Die Bögen QD und Q'D vervollständigen somit die Wölblinie.

Das zuvor angeführte Mausoleum von Rokn al-Din in Yazd (14. Jahrhundert) wurde nach dieser Methode als Shabdari Tond gebaut.

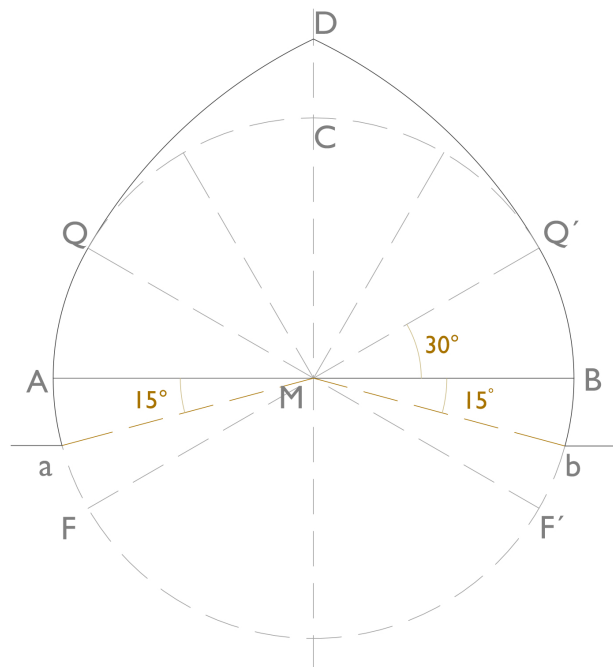


Abbildung 17: Geometrische Darstellung von Shabdari Tond

Shabdari Kond

Zur Konstruktion wird auch hier ein Kreis mit dem Durchmesser „AB“ gezeichnet, wobei die Durchmesserlänge nach dem gleichen Prinzip wie bei Shabdari Tond festgelegt wird. Dieser Kreis wird nun ausgehend von den Punkten A und B in gleiche Teile zerlegt, wodurch Kreisseiben mit Winkeln von 60° entstehen. Die weiteren Schritte zur Ermittlung der Wölblinie erfolgen in Analogie zur Shabdari Tond.

Die niedrigere Steigung im Vergleich zu Shabdari Tond führt zu einer, im Vergleich zu Shabdari Tond, niedrigeren Tragfähigkeit von Kuppeln der Shabdari-Kond-Form. Sie ist daher für Konstruktionen mit größerem Durchmesser nicht geeignet. Um die Tragfähigkeit von Kuppeln mit gedrücktem Spitzprofil noch zu erhöhen, verschiebt man die Punkte Q und Q' auf dem Kreis nach oben, so dass sie einen Winkel von $67,5^\circ$ zur horizontalen Achse bilden (siehe Punkte N und N' in Abbildung 14). Danach kann man auf der unteren Kreishälfte die Punkte F und

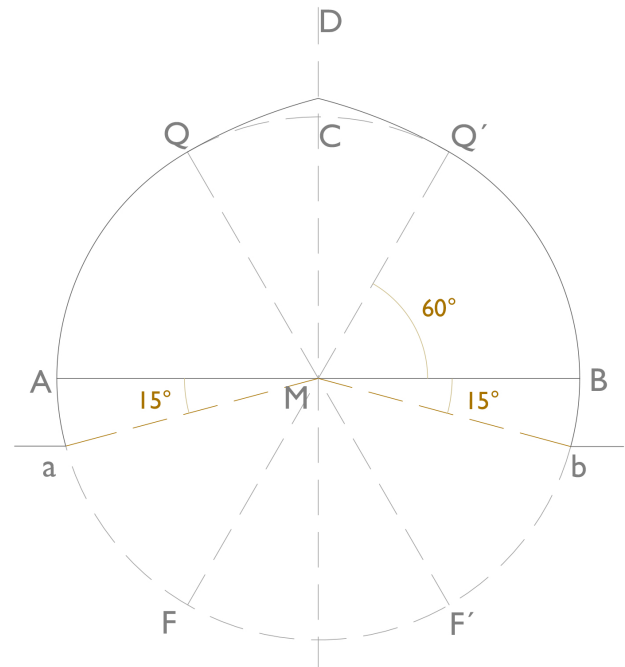


Abbildung 18: Geometrische Darstellung von Shabdari Kond

F' so nach oben verschieben, dass sich die Kreise mit Radius F'N und FN' in der gewünschten Höhe schneiden und somit den Scheitelpunkt ergeben. Dadurch ergibt sich eine höhere Wölblinie als sonst bei Shabdari Kond üblich. Die Freitagsmoschee von Yazd ist ein Beispiel einer solchen Konstruktion. Auf der Außenschale ist die veränderte Neigung gut sichtbar und mit einem anderen Fliesenmuster verkleidet [PIR-1992: S.122].

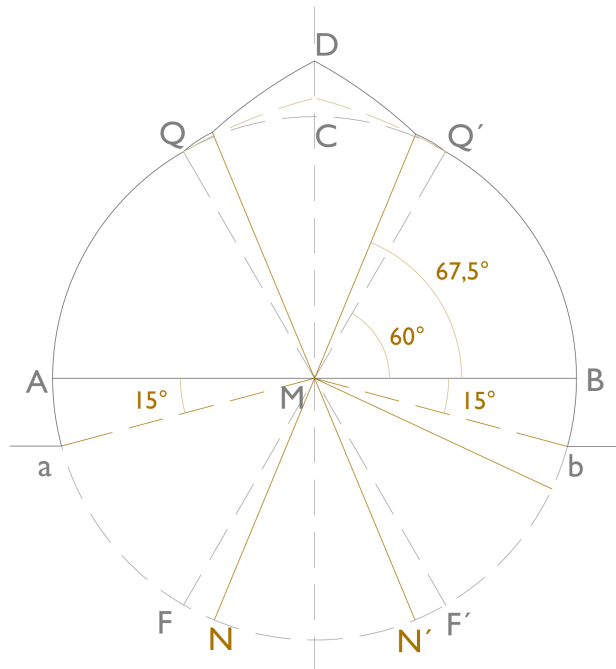


Abbildung 19: Geometrische Darstellung von Shabdari Kond in Freitagsmoschee von Yazd

Shabdari Sadeh

Die grundsätzliche Vorgangsweise zur Konstruktion der äußeren Kuppelschale ist wie der anderen Shabdari-Formen. Es wird zuerst ein Kreis nach den bereits bei Shabdari Tond und Kond beschriebenen Prinzipien gezeichnet. Dieser wird danach in acht gleiche Teile zerlegt, wodurch sich 8 Kreisseiben mit einem Winkel von 45° ergeben. Die weiteren Schritte erfolgen wie bei den anderen Shabdari-Formen bereits dargestellt [KAS-1987: S.53].

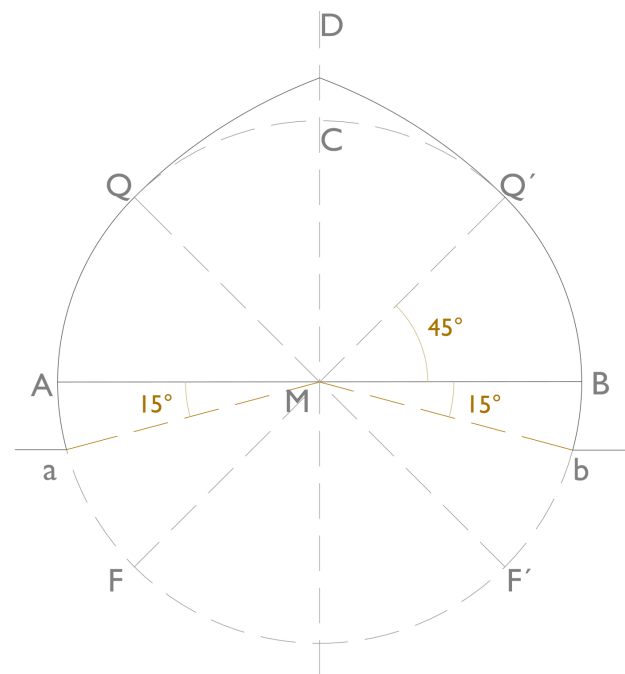


Abbildung 21: Geometrische Darstellung von Shabdari Sadeh

Abbildung 20: Außenansicht der Kuppel in der Freitagsmoschee von Yazd, nach Shabdari Kond



Tarkin-Kuppel

Die Tarkin-Kuppel ist eine Konstruktion mit einem Gerüst gleicher, radial verlaufender Rippen, die sich im Kuppelscheitel schneiden und zwischen denen Kuppelfelder als Füllmauerwerk aufgespannt sind.

Der Feuertempel von Niasar aus dem dritten Jahrhundert wurde nach einer Vorgängermethode von Tarkin konstruiert. Er wird jedoch oft auch als die erste bekannte in der Tarkin-Form gebaute Kuppel bezeichnet. Der Tempel befindet sich in der Provinz Kashan. Die Kuppel hat einen Durchmesser von 6m und die Gesamthöhe vom Boden bis zum Kuppelscheitel beträgt 12m. Sie besitzt 8 Rippen, die allerdings in dieser sehr frühen Ausführung noch keine tragende Funktion hatten. Sie wurden zur reinen Dekoration auf der Kuppelschale aufgebracht. Die Rippen bestehen aus einfachem Putz und Schilf und die Kuppelfelder sind mit Lehm und Steinen ausgefüllt [MEM-2-2012: S.484].

Ab dem 11. Jahrhundert und zur Zeit der Seldschuken erhalten die Rippen eine neue bautechnische Aufgabe in der Kuppelkonstruktion. Sie sind nicht mehr rein dekorative Element, sondern nunmehr auch tragendes Gerüst. Dadurch erzielt man nun eine viel höhere Schallentragsfähigkeit im Kuppelbau. In diesem Fall bilden die Rippen und die dazwischenliegende Felder eine homogene und statisch zusammenwirkende Einheit.

Ein gutes Beispiel für Kuppel nach Tarkin-Art befindet sich in Nezam-al-Mulk in der Freitagsmoschee von Isfahan. Die Kuppel ist einschalig mit einem Basisdurchmesser von 15m, mit acht tragenden Rippen und dazwischenliegenden Kuppelfeldern. Die Rippen treten nur an der Innenseite der Kuppel hervor und werden im Scheitelpunkt mit einem kreisrunden Scheitelring verbunden. Zur Errichtung einer Tarkin-Kuppel wird zuerst in der Mitte des Kuppelraums bis zum geplanten Kuppelscheitel eine hohe, temporäre Stütze aus Ziegeln gebaut. Darauf liegt der Scheitelring, der aus zwei aufeinanderliegenden, horizontalen Ziegelreihen besteht. Die vorgefertigten Rippen werden dann am Scheitelring und am Kuppelfußkreis befestigt. Zur Fertigung der Rippen für Kuppeln mit einem Basisdurchmesser von bis zu ca. 15m wird zuerst flach am Boden liegend ein Bogen aus Gips hergestellt (für Kuppeln mit einem

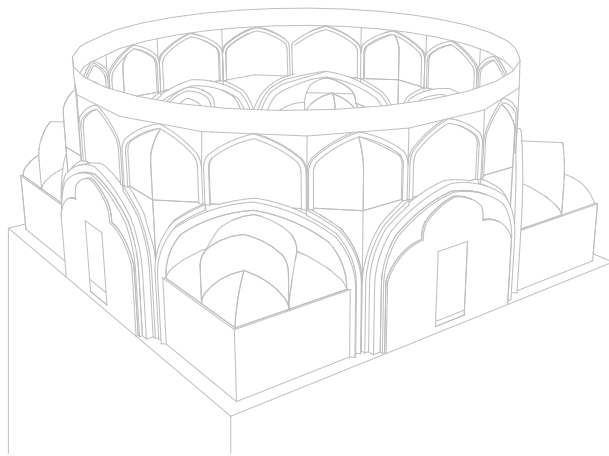
Basisdurchmesser größer als 15m siehe weiter unten). Um diesen Gipsbogen wird eine Ziegelreihe zur Stabilisierung gelegt. Zur Füllung des Hohlraums zwischen Gips und Ziegel wird Schilf eingefügt und wieder mit Putz abgedeckt [GOD-1990: S.27]. Die auf dieser Weise fertiggestellten Rippen werden nun an geeigneter Stelle am Kuppelfußkreis eingesetzt. Um die Stabilität der befestigten Rippen zu erhöhen, werden sie auf jeder Seite mit Ziegelreihen verstärkt. Zu guter Letzt werden die Felder zwischen den Rippen aufgemauert.



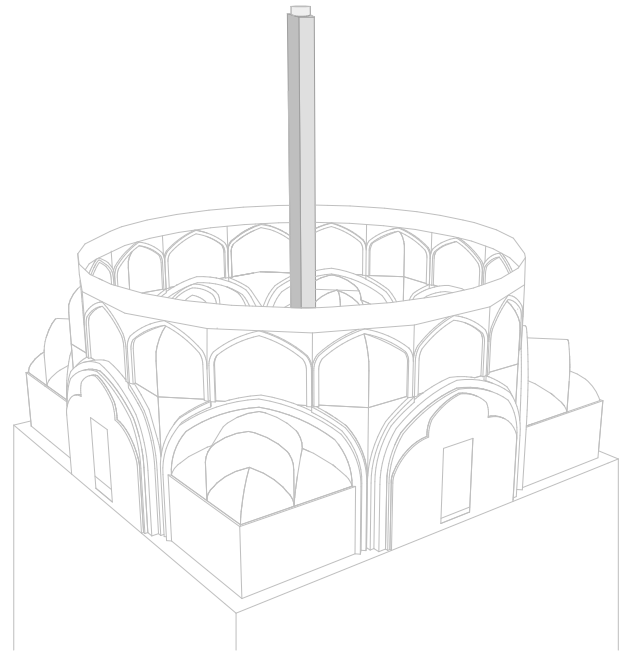
Abbildung 22: Innenansicht der Nizam-al-Mulk-Kuppel

Abbildung 23: Außenfassade der Nizam-al-Mulk-Kuppel

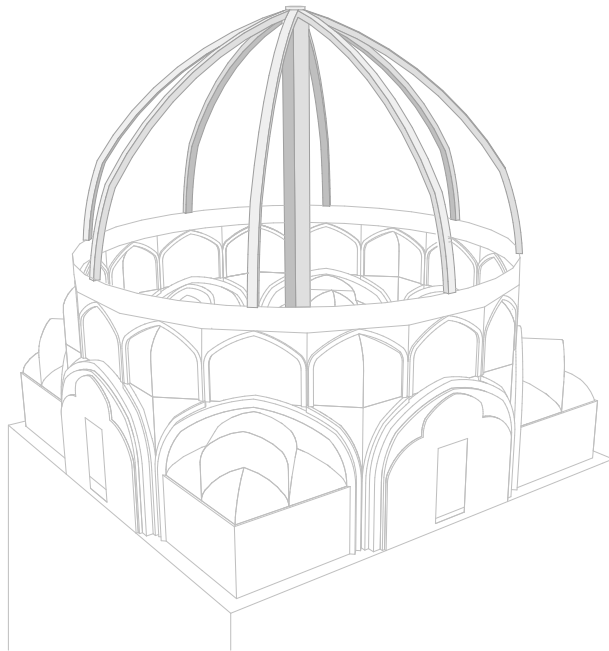




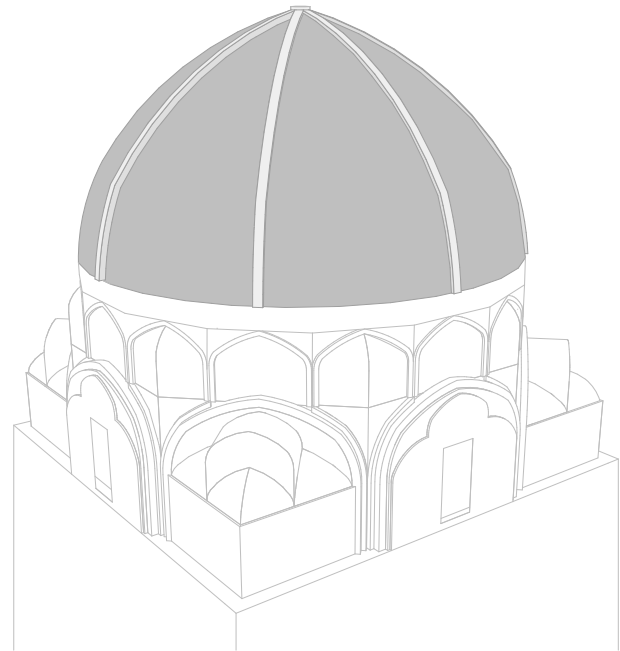
a



b



c



d

Abbildung 24: Tarkin-Konstruktion der Nezam-al-Mulk-Kuppel:

a. Abschluß der Eckausbildung auf dem Unterbau; b. Bau der temporären Stütze aus Ziegeln; c. Einbringung der vorgefertigten Rippen; d. Aufmauern der Felder zwischen den Rippen

Ab dem 12. Jahrhundert wurden Tarkin-Kuppeln zur Konstruktion der inneren Schale von zweischaligen Kuppeln benutzt. Ein Beispiel für diese Vorgangsweise ist die Freitagsmoschee von Ardestan, deren Innenschale nach Tarkin und deren Außenschale nach Shabdari Tond gebaut sind. Der Abstand der Scheitelpunkte der beiden Schalen beträgt 1,65m. Die Kuppel besitzt einen Basisdurchmesser von 10m und die Dicke der Schale am Anfangspunkt auf der Paraste ist 80cm. Das Verhältnis von Durchmesser zu Schalendicke ist viel geringer als andere Kuppeln ihrer Zeit. Die Kuppel umfasst 16 tragende Rippen, die an der Innenseite als Ziegelreihen sichtbar sind. Als Übergangselement wurde hier die Patkanehtrompe ausgewählt, die weiter unten anhand der Tadj al-Mulk-Kuppel ausführlich beschrieben wird [MEM-2-2012: S.493].



Abbildung 25: Innenansicht der Kuppel der Freitagsmoschee von Ardestan

Abbildung 26: Außenansicht der Kuppel der Freitagsmoschee von Ardestan

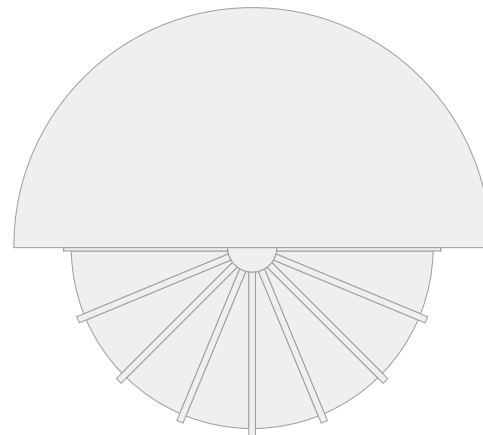
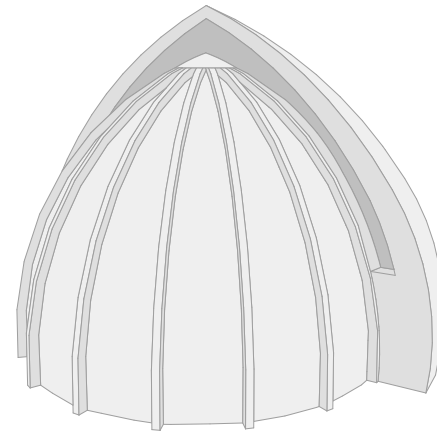
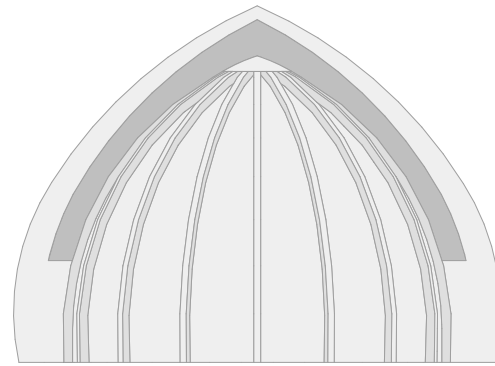


Abbildung 27: Konstruktion der Tarkin-Kuppel in der Freitagsmoschee von Ardestan

Ein jüngeres Exemplar einer Tarkin-Kuppel ist das Öldscheitü-Mausoleum (Soltaniyeh-Mausoleum) in der Provinz Zandjan aus dem 14. Jahrhundert. Das achteckige Mausoleum wurde mit einem Basisdurchmesser von 26m überwölbt. Damit gehört die Kuppel zu den größten Kuppeln im Iran. Sie ist zweischalig, wobei die Schalen bis zur Höhe von 4m über die Kuppelbasis miteinander verbunden sind; danach trennen sie sich und erreichen einen maximalen Abstand von 50cm. Der Abstand reduziert sich bis zum Kuppelscheitel auf Null. Die innere Schale besteht aus 8 Hauptrippen mit 16 weiteren, dünneren Nebenrippen. Die Anordnung der Nebenrippen ist so geplant, dass sie beginnend an der Kuppelbasis mit sechzehn Stück anfangen, deren Zahl sich aber mit weiterer Steigung auf acht reduziert. Diese Rippen bilden ein netzartiges, stabiles Gebilde [MEM-3-2014: S.194]. Auf den Rippen liegt die äußere Kuppelschale. Auf derselben Achse wie die 8 Hauptrippen liegen auf der Außenfassade des Mausoleums 8 Minarette, die die Übertragung der Schubkräfte der Hauptrippen unterstützen.

Zur Konstruktion von Kuppel mit einem Basisdurchmesser von mehr als 15m, wie auch bei Öldscheitü-Mausoleum, sind Rippen aus Gips wegen ihrer geringen Stabilität nicht mehr möglich. Man geht hierfür auf Rippen aus Holz über, die auf jeder Seite mit Ziegeln stabilisiert werden.

Abbildung 28: Öldscheitü-Mausoleum in Zandjan

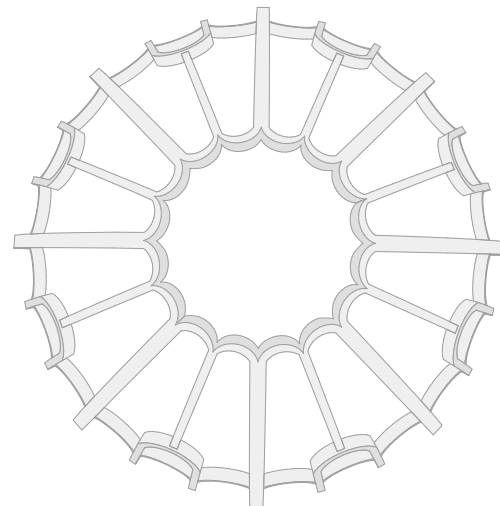
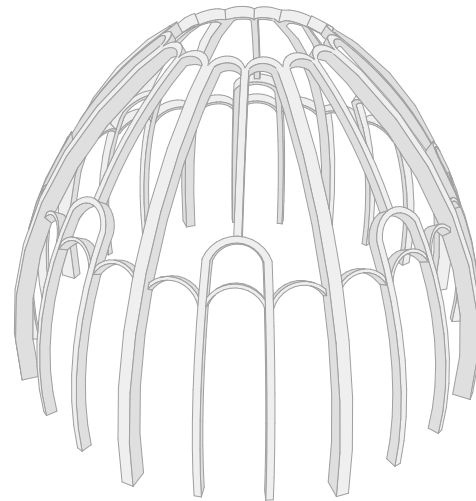
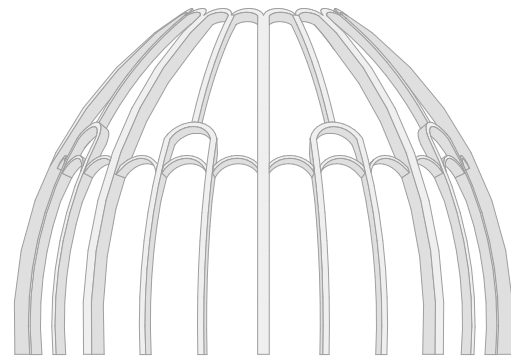


Abbildung 29: Anordnung der Haupt- und Nebenrippen im Öldscheitü-Mausoleum

Zweischalige Kuppeln mit großem Schalenabstand

Angefangen mit dem 11. Jahrhundert etablierte sich der Gedanke, die Innen- und Außenschale der Kuppeln voneinander unabhängig zu gestalten. Dieser Gedanke gewann langsam an Einfluss und wurde ab dem 13. Jahrhundert zu der am häufigsten angewandten Methode. Bei den anderen Kuppelkonstruktionen (einschalig, zweischalig mit geringem Abstand und Tarkin) bestand eine enge Verknüpfung zwischen dem Kuppel-Innenraum und dem äußeren Erscheinungsbild der Kuppel. Der Abstand zwischen Schale und Schutzschicht von einschaligen Kuppeln beträgt typischerweise ein bis zwei Ziegelstärken. Bei konvergierenden, zweischaligen Konstruktionen beträgt der Abstand höchstens einen Meter. Durch die Einführung dieser Kuppelart, die aufgrund der Unabhängigkeit der zwei Schalen auch oft als divergierende zweischalige Kuppel bezeichnet werden, konnte man diesen Abstand wesentlich vergrößern. Das ermöglichte es den Architekten, die Größenverhältnisse von Innenraum-Gestaltungselementen besser und unabhängig von der erwünschten Außenwirkung des Bauwerks aufeinander abzustimmen [MEM-2-2012: S.532].

Die viel höher sitzende äußere Schale übernimmt die Aufgabe der Schutzkuppel und hat daher vielfach eine geringere Stärke als die Innenschale. Durch den Höhengewinn konnte auch ein besseres Verhältnis zur Höhe der umliegenden Bauwerke, wie beispielsweise die Iwane der Moscheeanlage, geschaffen werden, wodurch ein harmonisches Äußeres entsteht. Gleichzeitig nehmen die Dimensionen des Innenraums, inklusive der Schale, durchaus Rücksicht auf das menschliche Raumgefühl. Den Architekten gelang es auf dieser Weise eine Beziehung zwischen dem Bauwerk und den Menschen herzustellen. Auf der einen Seite erfüllt das Kuppelwerk durch seine äußere Größe seine Rolle als Wahrzeichen und Symbol der Macht des Bauherrn. Auf der anderen Seite wirkt der Innenraum durch seine über die normalen Maße hinausgehenden Dimensionen auf den Menschen nicht einfach erdrückend. Die Proportionen des Innenraums sind gewählt, um vom menschlichen Augen optimal erfasst werden zu können und die Aufmerksamkeit auf sich ziehen zu können.

Diese Kuppelkonstruktion kommt in den zwei Variationen „Rok“ und „Nar“ vor, die nun im Detail beschrieben werden.

Rok-Kuppeln

Vorwiegend beim Bau von Mausoleen eingesetzt, erreichen Rok-Kuppeln das Ziel der Überhöhung durch eine kegel- oder pyramidenförmige Außenschale. Diese Form wurde ab dem 11. Jahrhundert in der iranischen Architektur eingeführt. Anfangs wurde diese Form aufgrund der klimatischen Bedingungen in den nördlichen iranischen Provinzen als Schutz gegen ständigem Regen benutzt. Später weitete sich der Einsatz auch in den trockenen Regionen aus [PIR-1992: S.124].

Die Form der Kuppelaußenschale wird durch die Auswahl des Unterbaus beeinflusst. Ein zylindrischer Unterbau führt zu einer hemisphärischen oder kegelförmigen Kuppel. Ein polygonaler Unterbau erlaubt sowohl eine hemisphärische, als auch pyramidenförmige Kuppel. Im Falle des polygonalen Unterbaus richtet sich die Anzahl der Seiten der Kuppelpyramide nach der Kantenzahl des Unterbaus. Allerdings wurde in seltenen Fällen die Form der Außenkuppel doch unabhängig vom Unterbau gestaltet. Ein Beispiel dafür ist der Akhanjan-Turm in Mashhad. Aus dem 15. Jahrhundert, zur Zeit der Timuriden stammend, besitzt er einen 8-eckigen Unterbau und eine Kuppel nach Rok-Art mit einer 16-seitigen pyramidalen Form.

Die innere Schale von Rok-Kuppeln besitzt eine elliptische Form und wird nach der Holuchin- oder Basto-Methoden konstruiert.

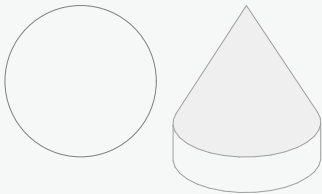
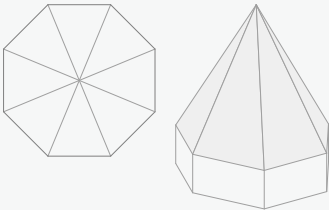
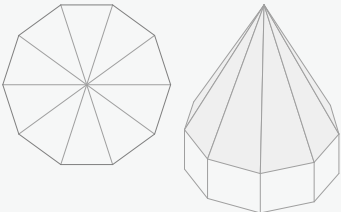
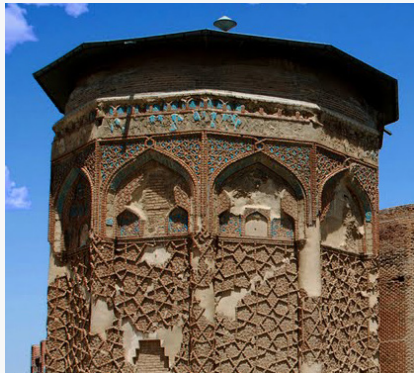
Zur Eckausbildung bei einem quadratischen Unterbau wird eine der üblichen Formen von Übergangselementen (siehe nächsten Abschnitt) herangezogen, um den Unterbau zuerst in ein 8-Eck und dann 16-Eck zu überführen. Bei anderen Unterbauformen erfolgt die Überleitung ohne Eckausbildung.

Eine der ältesten bekannten Rok-Kuppel stammt aus dem 11. Jahrhundert (1006/1007) und befindet sich in Gonbad-e Qabus in der nördlichen Provinz Golestan. Dieses Mausoleum besitzt eine sich leicht verjüngen-

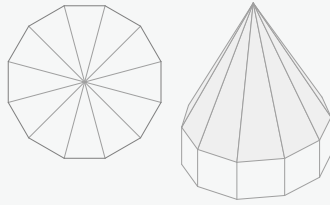
de zylindrische Unterbauform und eine kegelförmige Kuppelschale mit einer Gesamthöhe von 55m. Auf der Außenfassade des Unterbaus liegen 10 stützende Strebepfeiler, die zur Neutralisierung der entstehenden Schubkräfte der Kuppel dienen. Diese Pfeiler haben aber nicht nur einen konstruktiven Charakter, sondern durchaus auch einen als Dekoration für die Außenfassade [STIE-2012: S.34].

Kombinationen mit anderen Formen gebaut. Das Tchelh-Dokhtaran, ein Familiengrab aus dem 11. Jahrhundert, ist durch die Kombination von Shabdari und Rok gebaut worden. Von der Kuppelbasis bis zu ein Drittel der Höhe der äußeren Schale wurde nach Shabdari-Art gebaut, der Rest mit einer geraden Profil nach Rok bis zum Scheitelpunkt [PIR-1992: S.128].

In der folgenden Tabelle werden die unterschiedlichen Kuppelschalen in Rok-Kuppeln in Übersicht dargestellt:

Rok-Schalenform	Beispiel	Abbildung
Kegelförmige Kuppelschale auf einem zylindrischen Unterbau 	Gonbad-e Qabus in Golestan aus dem 11. Jahrhundert	
8-eckige pyramidenförmige Kuppelschale auf einem 8-eckigen Unterbau 	Grab des Ab das-Samad in Freitagsmoschee von Natanz aus dem 14. Jahrhundert	
10-eckige pyramidenförmige Kuppelschale auf einem 10-eckigen Unterbau 	Gonbad e-Kabood in Maragheh aus dem 12. Jahrhundert Die Rok Kuppel wurde im Laufe der Zeit zerstört	

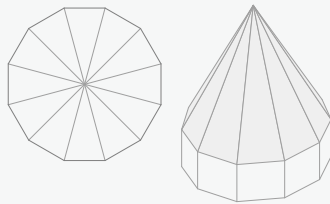
12-eckige pyramidenförmige Kuppelschale auf einem 12-eckigen Unterbau



Mausoleum des Baba Rokn al-Din in Isfahan aus dem 14. Jahrhundert



16-eckige pyramidenförmige Kuppelschale auf einem 16-eckigen Unterbau

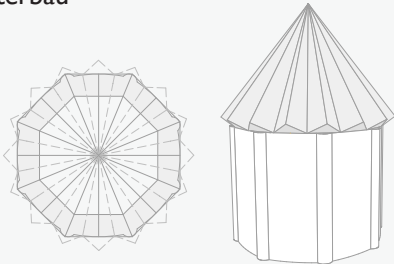


Mausoleum des Ali-ebne Jafar in Kashan aus dem 12. Jahrhundert



Sonderformen

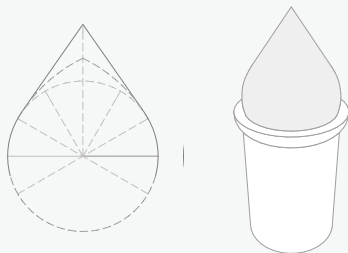
16-eckige pyramidenförmige Kuppelschale auf einem 8-eckigen Unterbau



Akhanjan-Turm in Mashhad aus dem 15. Jahrhundert



Eine Kombination von Shabdari Tond und Rok-Schalenformen auf einem zylindrischen Unterbau



Familiengrab des Tschehel Dochtaran in Damghan aus dem 11. Jahrhundert



Eine weitere Variante von Rok ist die sogenannte Orchin-Kuppel. Orchin steht im Persischen für eine treppenartige Form. Diese Art der Außenschale wird häufig in den südlichen Provinzen, insbesondere Khuzestan und auf der Insel Kharg angetroffen. Die typische pyramidenförmige Außenschale von Rok ist hier treppenartig, mit aufeinander versetzt liegenden Stufen, bis zum Scheitelpunkt gestaltet. Dieser Form wird eine religiöse Bedeutung zugeordnet; sie stelle den schrittweisen Aufstieg der menschlichen Seele zu Gott dar [ZOM-2011: S.349].

Diese Art der Kuppel wird aus Ziegeln gebaut und mit Putz verkleidet. In seltenen Fällen trifft man auch mit Fliesenmuster verkleidete Orchin-Kuppel an. Das Mausoleum des Daniel in Susa, erstmals im 12. Jahrhundert

erwähnt und im 19. Jahrhundert vollständig renoviert, ist ein Beispiel für die Orchin-Bauweise. Das gleiche gilt für das Mausoleum des Imamzadeh Djafar aus der Seldschuken-Ära.

Im Laufe der Zeit wurde die originale Rok-Form durch weitere Elemente erweitert. Ein prominentes Beispiel dafür ist die Einführung des Tambours ab dem 13. Jahrhundert. Dieses zusätzliche vertikale Verbindungselement zwischen Unterbau und Kuppel bewirkt eine weitere Erhöhung der Kuppel. Die Form des Tambours ist entweder zylindrisch oder polygonal und richtete sich nach der Form der Kuppelaußenschale. Die Verwendung des Tambours fand einen Höhepunkt in der Timuriden-Dynastie.



Abbildung 30: Mausoleum des Daniel in Susa mit Orchin-Kuppel

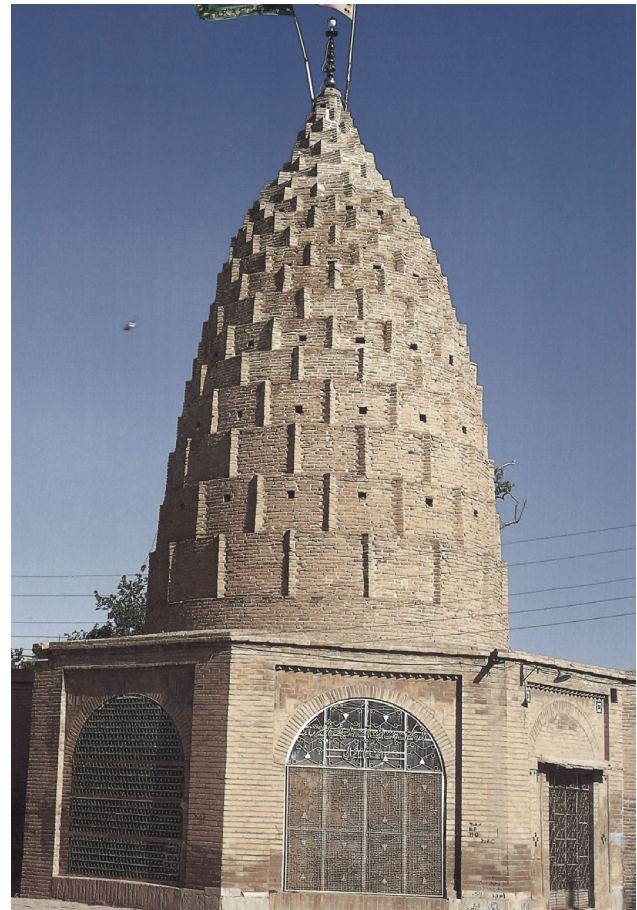


Abbildung 31: Imamzadeh Jafar in Khorramabad mit Orchin-Kuppel

Ein weiteres Beispiel ist das Khashkhashi, eine Entwicklung der iranischen Architektur ab dem 13. Jahrhundert zur Stärkung der Tragfähigkeit der äußeren Kuppelschale bei Rok- und Nar-Kuppeln. Der Name Khashkhashi wird im Persischen vom Schlafmohn hergeleitet. Mohnkapseln besitzen ein eier- bzw. zwiebelförmiges Profil und in der inneren Seite liegen kleine Rippen, die eine dünne Außenschale tragen [ZOM-2011: S.328]. Dies diente als Inspiration für den Bau von Khashkhashi-Rippen. Es handelt sich um vertikale, tragende Verstrebungen aus Ziegeln, die zwischen den Kuppelschalen liegen. Die auf der Außenschale wirkenden Kräfte werden über die Khashkhashi-Rippen auf die tragende Innenschale übertragen, von wo sie dann auf die Übergangselemen-

te und schließlich die Unterbauwände geleitet werden. Eine der ersten bekannten Rok-Kuppeln mit Khashkhashi ist der Radkan-Turm aus dem 13. Jahrhundert in der Provinz Khorasan. Während der Innenraum einen quadratischen Grundriss besitzt, besteht er nach außen aus 39 miteinander verbundenen, halbzyklindrischen Stützen, die zusammen die Fassade bilden. Die innere Kuppelschale besitzt einen Basisdurchmesser von 9m und eine Höhe von 15m. Die Höhe des Scheitelpunkts der elliptischen Außenschale bis zum Boden beträgt 25m. Zwischen den Kuppelschalen liegen 12 vertikale Verstrebungen aus Ziegeln als Tragelemente der äußeren Schale.

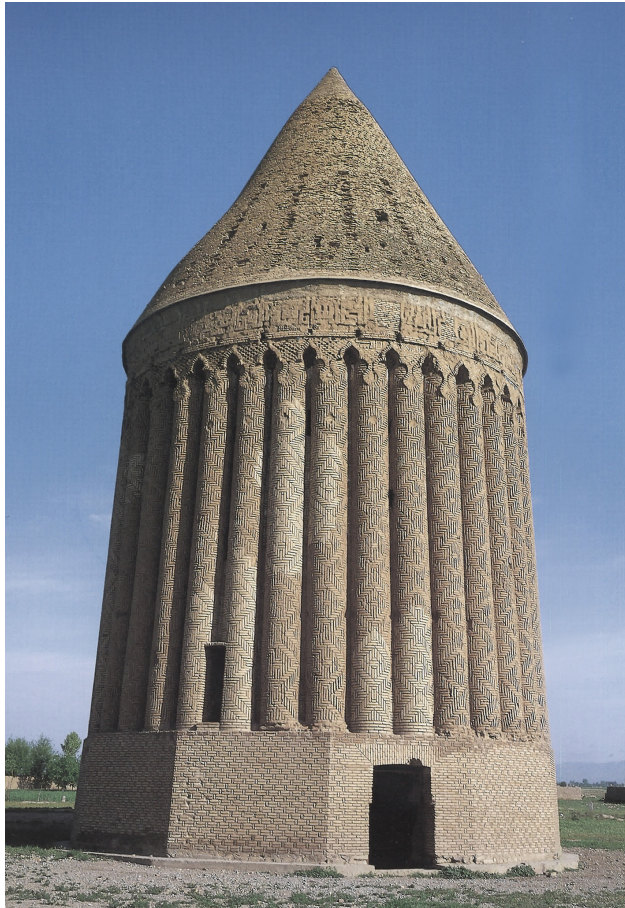


Abbildung 32: Radkan-Turm aus dem 13. Jahrhundert in Khorasan

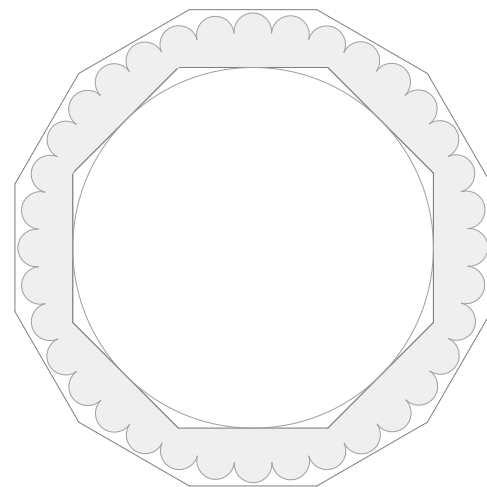


Abbildung 33: Grundriss des Radkan-Turms in Khorasan

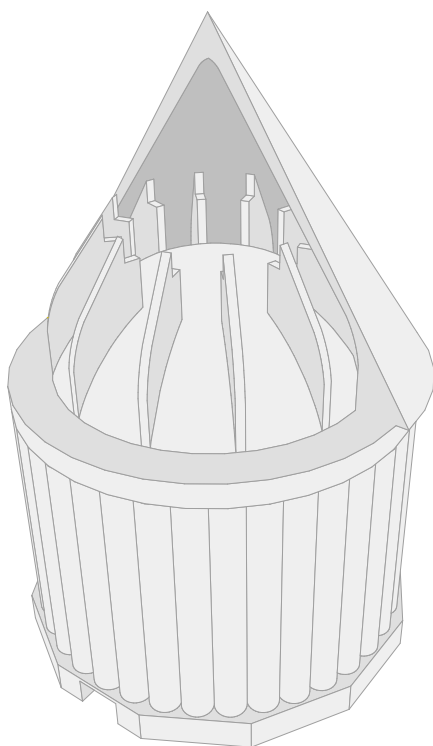


Abbildung 34: Schnitt durch die Außenschale des Radkan-Turms und Darstellung der Khashkhashi-Rippen

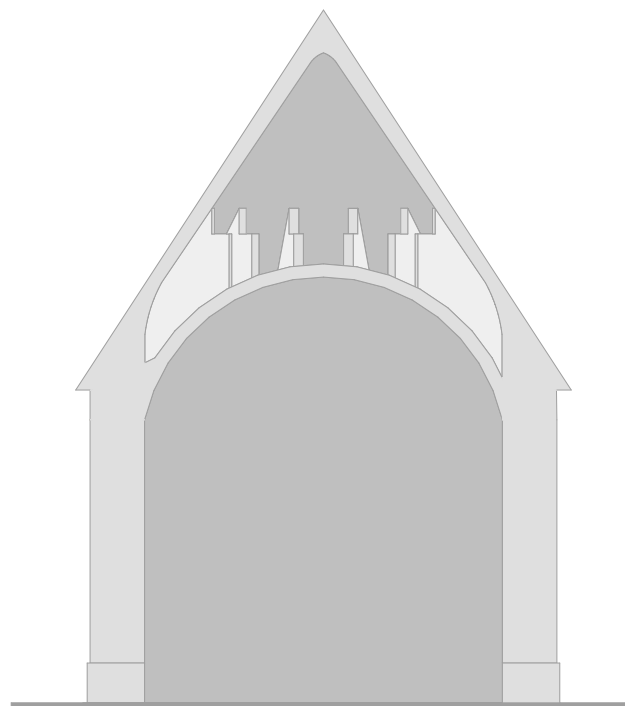


Abbildung 36: Schnitt des Radkan-Turms

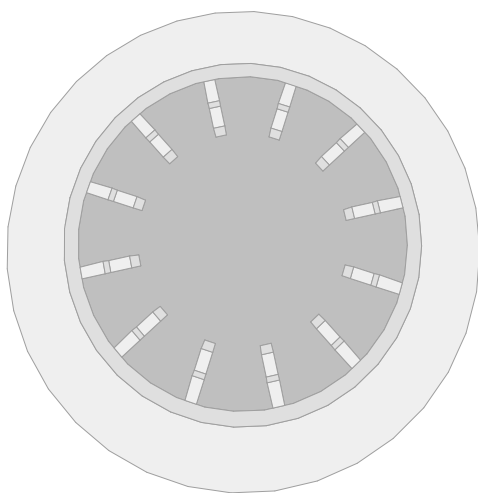


Abbildung 35: Vertikaler Schnitt durch die Kuppelschale und Khashkhashi-Rippen



Abbildung 37: Inspiration von Mohnkapseln für die Konstruktion des Khashkhashi-Rippen

Nar-Kuppeln

Die Innenschale der Nar-Kuppeln wird nach Holuchin (Kond oder Tond) oder Sabuyi-Art konstruiert. Für die Außenschale griff man auf die bekannten Shabdari-Formen zurück. Es entstand aber auch eine völlig neue Außenschalenform, die Sarvak genannt wurde. Zur Konstruktion von Sarvak wird wie folgt vorgegangen:

1. Die Länge des Basiskreisdurchmessers AB ist durch den Unterbau vorgegeben. Diese Länge wird geviertelt, wodurch sich eine virtuelle Längeneinheit der Kuppel ergibt

2. Ausgehend von den Punkten A und B werden zwei vertikale Linien mit einer Länge gleich 3 Längeneinheiten (d.h. $\frac{3}{4}$ des Basiskreisdurchmessers) nach oben gezeichnet. Es ergeben sich die Punkte Q und P. Es wird angenommen, dass die Punktpaare (P', P) und (Q', Q), deren Abstand als Wölblinien-Höhe bezeichnet wird, jeweils die Brennpunkte zweier identischer gegeneinander verschobenen Ellipsen bilden.

3. Die Punkte (A, B, P) und (A, B, Q) bilden jeweils 2 rechtwinkelige Dreiecke. Die Hypotenuse dieser Dreiecke (die Strecken AQ bzw. BP) hat nach dem Satz des Pythagoras eine Länge gleich 5 Längeneinheiten.

4. Nun wird eine Kette mit einer Länge von 9 Längeneinheiten zwischen den Brennpunkten (A, P) gespannt und um diese Punkte gezogen. Es ergibt sich eine Ellipse, die durch die Punkte Q und B geht.

5. Das Gleiche wird für das andere Brennpunktpaar (B, Q) durchgeführt. Es ergibt sich eine Ellipse, die durch die Punkte A und P geht.

6. Diese 2 Ellipsen schneiden sich oben in einem Punkt D, der den Scheitel der Sarvak-Kuppel bildet.

7. Die durch die 2 Ellipsen entstandenen Bögen (A, P, D) und (B, Q, D) bilden die Sarvak-Kuppel.

Wie bei den zuvor beschriebenen Rok-Kuppeln kam auch bei Nar-Kuppeln ein Tambour als Verbindungselement zwischen der äußeren Kuppelschale und den Unterbau zum Einsatz. In beiden Fällen ist der Tambour nach außen hin zylindrisch, aber kegelförmig nach innen. Die Höhe des Tambours variierte mit der Zeit und der Region. Beispielsweise wurden zur Zeit der Timuriden Tamboure höher gebaut, typischerweise mit einem Verhältnis von 1:9 zwischen Kuppelbasisdurchmesser zur Tambourhöhe. Auch gibt es keine Verbindung zwischen der Höhe des Tambours und der Höhe der inneren Schale; die innere Schale kann im Bereich des Tambours oder auch höher liegen.

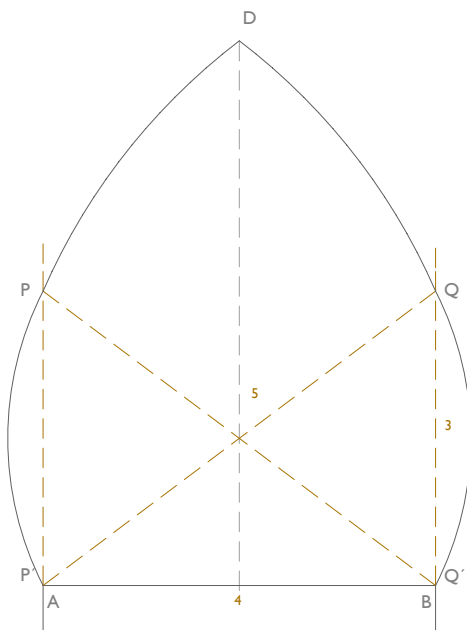


Abbildung 38: Geometrische Darstellung der Sarvak-Schalenform



Abbildung 39: Imamzadeh Helal ibn-Ali-Kuppel in Kashan nach Sarvak-Schalenform

Auch bei Nar-Kuppeln kommen die im vorigen Abschnitt über Rok-Kuppeln angeführten Khashkhashi-Elemente zum Einsatz. Diese sind mit dem Tambour und der oberen Schale verbunden, wobei sie typischerweise nicht höher als die halbe Höhe der Außenschale reichen. Dadurch erhöht sich die Stabilität der Kuppel gegen horizontal wirkende Kräfte wie Sturm und Erdbeben. Es wurde immer eine gerade Zahl an Khashkhashi-Elemente gewählt. Die Elemente besitzen im allgemeinen eine Breite von ein bis drei Ziegeln (bis zu 60cm) und eine variable Tiefe bis zu 3m. Ihre Höhe ist abhängig von der Kuppelhöhe und liegt üblicherweise zwischen 2m und 10m.

Zusätzlich zu den Khashkhashi kamen ab dem 14. Jahrhundert, zur Zeit der Timuriden, noch weitere Verstrebungen aus Holz zur verstärkten Reduktion der Schubkräfte in den Kuppelschalen zum Einsatz. Diese Holzverstrebungen wurden auf drei Arten verlegt:

1. Vertikale Stützen („Shahang“ genannt) zur Verbinden der zwei Schalen
2. Horizontale Balken, parallel zur Spannweite, die die

Khashkhashi-Tragelemente mit ihren gegenüberliegenden Elementen verbinden.

3. Umlaufende Balken aus einer Anzahl von durch Metallnägeln miteinander verbundenen Holzbalken, die in unterschiedlichen Höhen um die Schale verlegt wurden.

Als Material für die Holzverstrebungen wurde Kiefernholz wegen ihrer Eigenschaft der Harzbildung an der Oberfläche bevorzugt eingesetzt. Dadurch wirkte man auch Schäden durch Termitenbefall entgegen.

Ein Beispiel dieser Konstruktion ist das sich in der Stadt Shiraz befindliche Mir-Mohammad Mausoleum aus dem 18. Jahrhundert. Die Außenschale wurde nach Sarvak-Schalenform konstruiert und besitzt eine Wölblinien-Höhe von 2,5m. Die Innenschale wurde nach der Holuchin Kond Form konstruiert. Zwischen den beiden Schalen liegen 8 Khashkhashi-Tragelemente mit einer trapezförmigen Fläche, die die Außenschale tragen. Die horizontalen und umlaufenden Holzverstrebungen sind über vier Ebenen zwischen Khashkhashi Elementen verteilt.



Abbildung 40: Außenansicht des Mausoleum des Mir-Mohammad in Shiraz

Abbildung 41: Vertikaler Schnitt durch die Kuppelschale und Khashkhashi-Rippen des Mir-Mohammad-Mausoleums in Shiraz

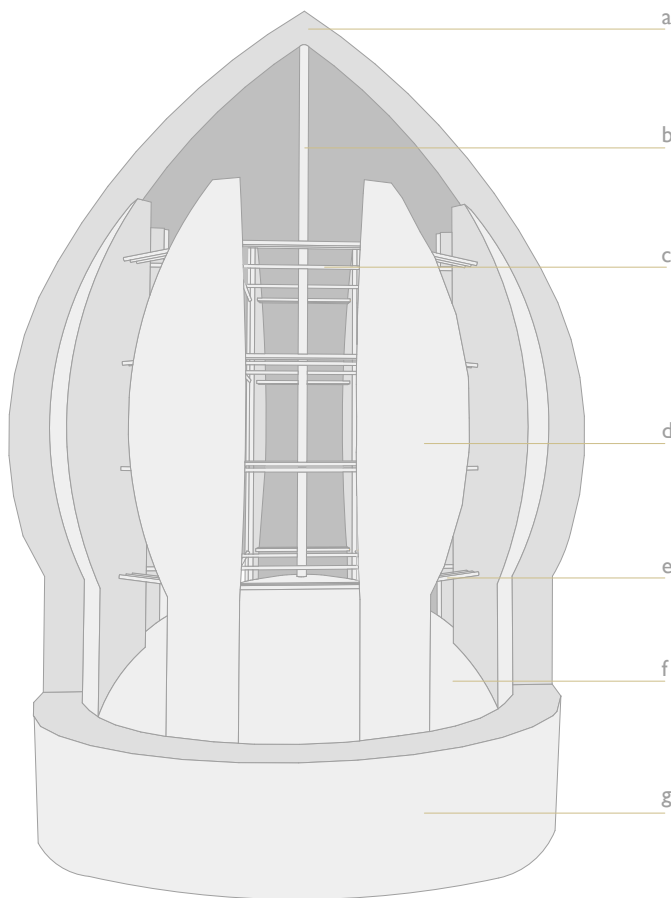
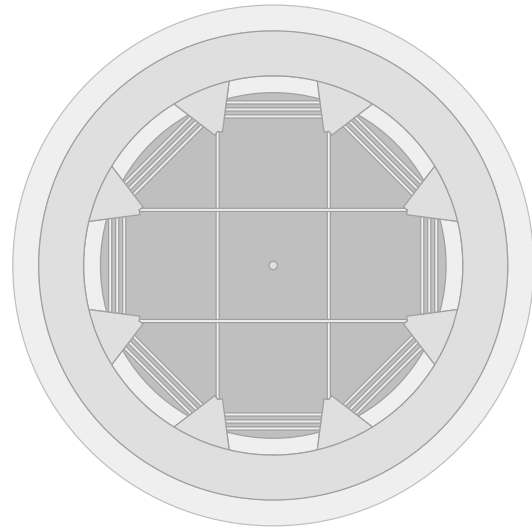


Abbildung 42: Die Hauptelemente der Nar-Kuppel im Mir-Mohammad-Mausoleum von Shiraz:

- a. Außenschale
- b. Vertikale mittige Stütze (Shahang)
- c. Horizontale Holzbalken
- d. Khashkhashi-Tragelemente
- e. Umlaufende Holzbalken
- f. Innere Kuppelschale
- g. Tambour

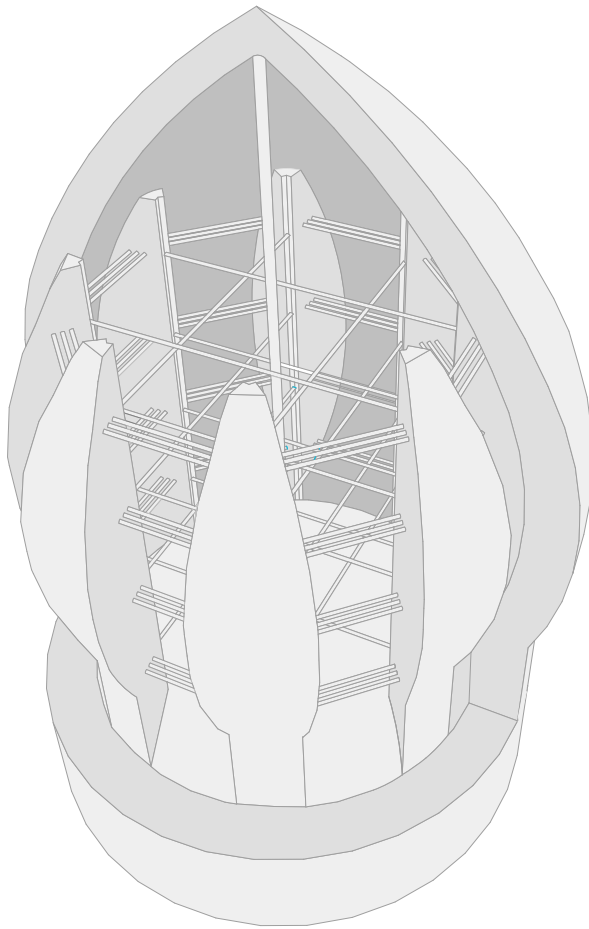


Abbildung 43: Schnitt durch die Außenschale des Mir-Mohammad-Mausoleums und Darstellung der Khashi-Rippen und Holzverstrebungen

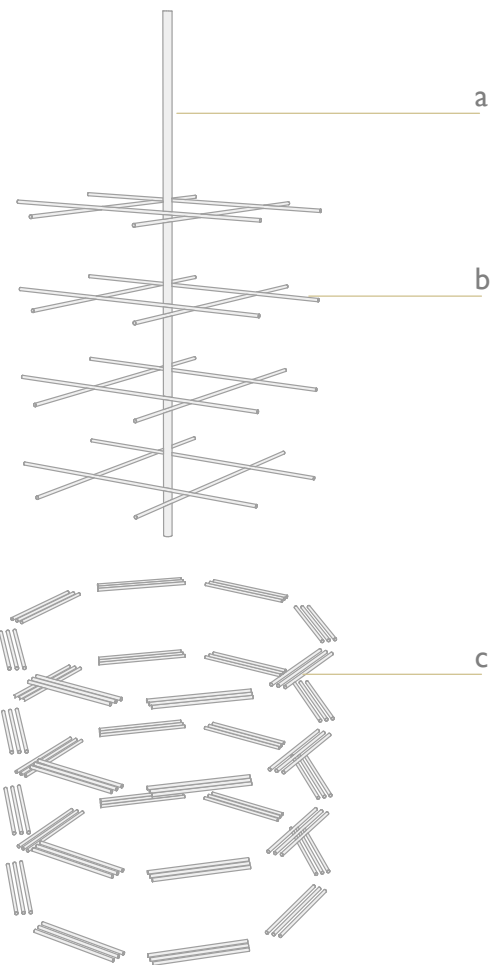


Abbildung 44: Darstellung der Holzverstrebungen in der Nar-Kuppel des Mir-Mohammad-Mausoleums in Shiraz:

- a. Shahang
- b. Horizontale Holzbalken
- c. Umlaufende Holzbalken

Dreischalige Kuppel

Diese Konstruktion mit drei Schalen kommt sehr selten in der iranischen Architektur zum Einsatz, und erst ab dem 13. Jahrhundert. Die äußere Schale wurde als Rok- oder Nar-Kuppel ausgeführt. Die mittlere, tragende Schale wurde nach Holuchin Kond konstruiert. Die innere Schale ist rein dekorativ und meistens mit Muqarnas überwölbt.

Es kommen gelegentlich auch Khashkhashi-Tragelemente und Tambour zum Einsatz. Um die entstehenden Schubkräften der Außenschale zu neutralisieren, wird eine höhere Paraste auf dem Tambour aufgesetzt. Die Wölbung der mittleren Kuppel fängt im Bereich der Pa-

raste an.

Ein Beispiel dieser Konstruktion ist das sich in der Provinz Semnan befindliche Abu-Yazid-a-Bastami-Mausoleum aus dem 14. Jahrhundert. Der Kuppelsaal besitzt einen quadratischen Grundriss mit einer Seitenlänge von 7,5m. Die innere Schale liegt mit einer geringen Steigung auf den Übergangselementen und besitzt eine Höhe von 11m vom Boden des Kuppelsaals. Die mittlere, nach Holuchin Kond gebaute Schale besitzt einen Durchmesser von 5,5m. Die Stärke dieser Schale fängt bei 50cm am Anfang der Wölbung und verjüngt sich bis 20cm am Scheitelpunkt. Die Außenschale ist als kegelförmige Rok-Kuppel konstruiert. Sie hat eine Höhe von 20m, mit einem Abstand von 8m zur mittleren Schale.



Abbildung 45: Außenansicht des Abu-Yazid-a-Bastami-Mausoleums in Semnan

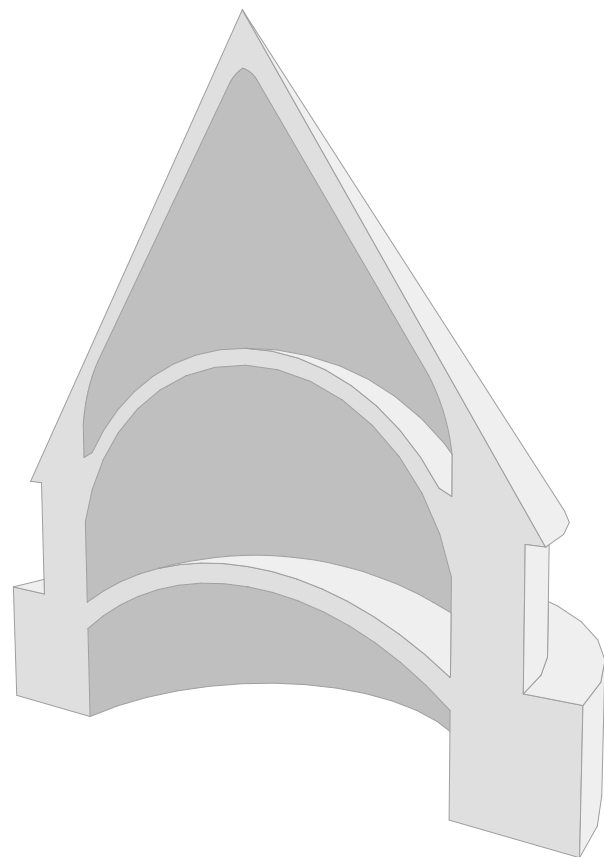


Abbildung 46: Schnitt der dreischaligen Kuppel im Abu-Yazid-a-Bastami-Mausoleum in Semnan

Historische Entwicklung der Eckausbildungen

Die Elemente von Eckausbildungen können in zwei Kategorien eingeteilt werden: Die konstruktiven und die gestalterischen Elemente. Bei der Auswahl der geeigneten Eckausbildung müssen beide Kategorien berücksichtigt werden.

Konstruktive Elemente dienen als tragende Auflage zur Stützung der Kuppel; hingegen sind die gestalterischen Elemente jene, die den freistehenden Raum hinter dem konstruktiven Element auffüllen.

Der Unterschied dieser beiden Kategorien ist in der Abbildung 47 anhand des Kuppelsaals vom Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd beispielhaft erklärt worden, indem ein Schrägschnitt durch die beiden sich gegenüberliegenden Eckausbildungen gezogen wird. Man muss sich in diesem Raum als ein rechtwinkeliges Dreieck ABC

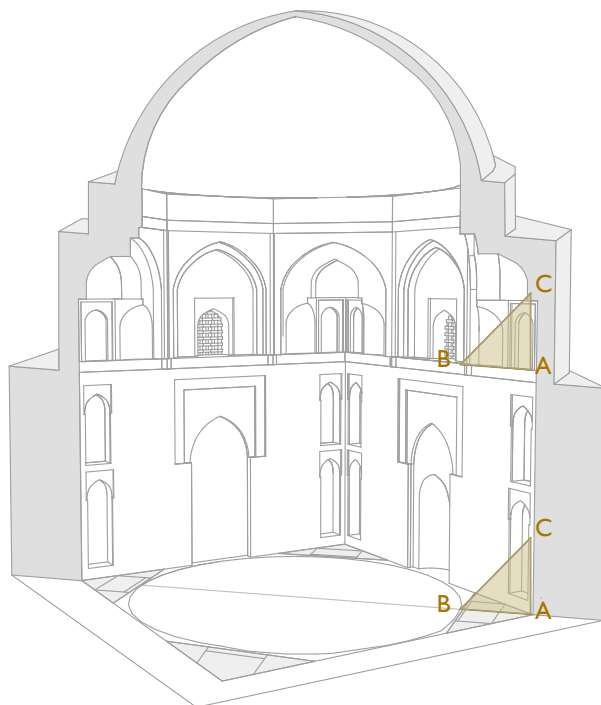


Abbildung 47: Eckausbildung im Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd

vorstellen, das sich folgendermaßen zusammensetzt:

- Der Punkt A liegt auf der Ebene des Grundrisses in der Raumecke.
- Die Kante AB ist die kürzeste Verbindung von A zum Fußkreis der Kuppel am Grundriss.
- Der Punkt C liegt oberhalb von A, und zwar in der Höhe der 8-eckigen Übergangszone.
- Das so entstandene Dreieck wird nun vertikal nach oben projiziert, so dass der Punkt A nun am Anfang der 8-eckigen Übergangszone zu liegen kommt. Alle Elemente der Eckausbildung liegen im Raum auf den Kanten dieses Dreiecks. Jene auf der Linie AC sind konstruktiver Natur; die Elemente auf AB und BC sind gestalterischer Natur.

In der vorislamischen Zeit konnte kaum eine Grenze zwischen konstruktiven und gestalterischen Elementen gezogen werden, weil die Eckelemente mit den nebenliegenden Wänden fest verbunden waren. Eine wesentliche Innovation in der Eckausbildung erfolgte im frühen 10. Jahrhundert durch die Einführung von tragenden Bögen als konstruktive Elemente auf allen Kanten des 8-Ecks. Um diese Bögen werden rechtwinkligen Umrahmung eingesetzt. Diese Konstruktion, welche durch Bogen, seiner Umrahmung und die dazwischenliegende Fläche (genannt Bogenzwickel) entsteht, wird auf Persisch „Taghbandi“ genannt. Dadurch wurden die gestalterischen Elemente von ihrer lasttragenden Funktion befreit. Es entstand eine enorme Freiheit der Gestaltung dieser Elemente auf der Rückseite der Eckausbildung, welche zunehmend in den Bauten ab dem 10. Jahrhundert beobachtet werden kann.

In der frühen islamischen Zeit wird die Überleitung von einem durch Taghbandi entstehenden 8-Ecks zu einem 16-Eck mit einer schmalen bandartigen Zone durchgeführt. Ein Beispiel dafür befindet sich im Samaniden-Mausoleum aus dem frühen 10. Jahrhundert.

Ab der Seldschuken-Dynastie werden diese Übergangselemente vielfältiger. In dieser Zeit setzen die Architekten zwei Reihen von Taghbandi-Elementen aufeinander, um ein 16-Eck zu erreichen. Später entwickelte man dieses Prinzip weiter, indem sich die oberen, 16-eckigen Übergangselemente in die Zwickel des darunterliegenden 8-Ecks einfügten und diese so als ein netzartiges Gebilde überlagerten.

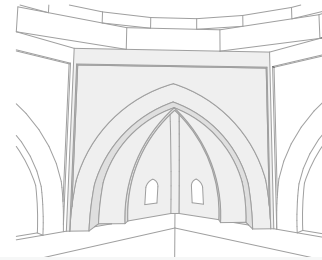
Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der Entwicklung von Eckausbildungsarten im Laufe der Geschichte:

Eckausbildungsart	Entstehungsperiode	Beispiel
Ausführung in Holz	Ende der Arsakiden und Anfang der Sassaniden-Dynastie	Feuertempel Baze-Hoor
Filpuschtrömpe	3. Jahrhundert in der Sassaniden-Dynastie	Feuertempel Firuzabad
Eskonj ohne Taghbandi	4. Jahrhundert in der Sassaniden-Dynastie	Palast von Sarvestan
Patkintrompe	Zwischen 11. Und 12. Jahrhundert in der Seldschuken-Zeit	Karwanserei Daya Khatun
		Imamzadeh Djafar

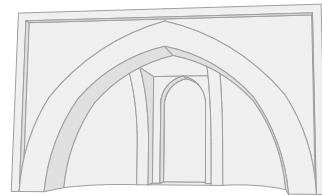
Patkanehtrompe

Ab dem frühen 10. Jahrhundert
in der Samaniden-Dynastie

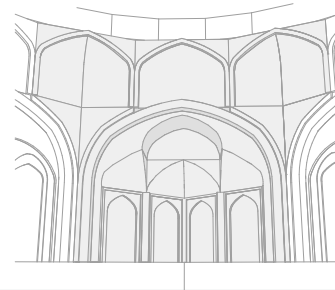
Samaniden-Mausoleum



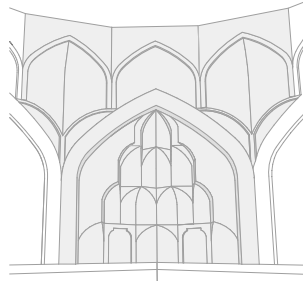
Jorjir-Portal



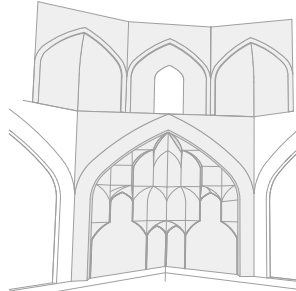
Freitagsmoschee von Isfahan



Freitagsmoschee von Golpayegan



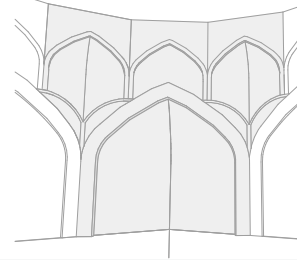
Freitagsmoschee von Varamin



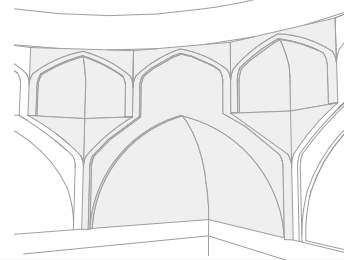
Eskonj mit Taghbandi

Ab dem 11. Jahrhundert in der
Seldschuken-Dynastie

Freitagsmoschee von Abhar



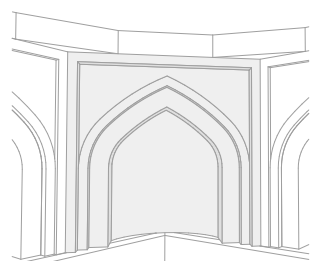
Mausoleum des Rokn al-Din



Sondern Form der Eckausbildung

Ab dem 11. Jahrhundert in der
Ghaznaviden-Dynastie

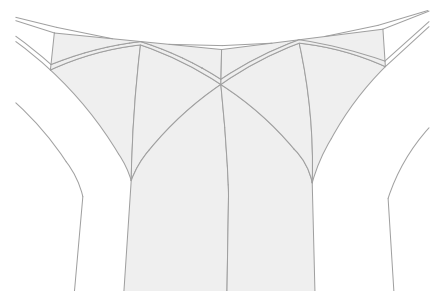
Mausoleum des Arsalan- Jadhid



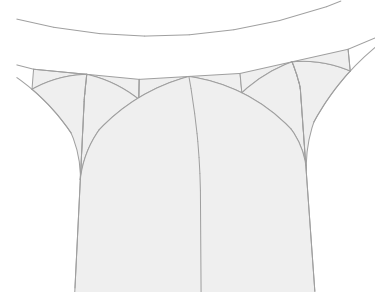
Karbandi als Eckausbildung

Ab dem 13. Jahrhundert in der
Timuriden

Freitagsmoschee von Shahreh-kord



Sheikh-Lotfollah-Moschee



Eckausbildung in der vorislamischen Zeit

Ausführungen in Holz

Die ältesten Eckausbildungen wurden aus Holz angefertigt. Sie entstanden in einer relativ kurzen Periode in der vorislamischen Ära gegen Ende der Arsakiden- und Anfang der Sassaniden-Dynastie (vom 3. bis zum 7. Jahrhundert). Die eher feuchten klimatischen Bedingungen und der damit zusammenhängende Termitenbefall schränkten jedoch die Ausbreitung von Holz ausföhrungen auf die eher trockenen Gebiete in Khorasan und die Berggebiete Kermans ein.

Ein sehr frühes noch erhaltenes Beispiel ist der Feuer-tempel Baze-Hoor in der Provinz Khorasan, ca. 80km südlich von Mashhad. Er stammt aus den Anfängen der Sassaniden-Dynastie und gehört zu den ältesten Bauten mit einer auf quadratischem Grundriss gebauten Kuppel. Die Tempelwände und die darauf angebrachte einschalige Kuppel selbst sind aus Stein.

Um den Übergang vom quadratischen Untergrund zum Kuppelfuß zu schaffen, wurden hier die Holzbalken aufeinandergestapelt, aber nicht in der Ecke oberhalb des Raumquadrats, sondern in den die Ecke bildenden

Wandflächen, hervortretend in den Raum. Diese Art der Konstruktion hat zur Folge, dass der Kuppelausbau nicht durch weitere polygonale Unterteilung, d.h. vom 8- in 16-Eck usw., geschieht, sondern über das 8-Eck hin zur Kuppelspitze die Schale verlaufend zusammengezogen wird [ZOM-2011: S.294].



Abbildung 48: Außenansicht des Baze-Hoor in Khorasan



Abbildung 49: Eckausbildung aus Holz im Baze-Hoor in Khorasan

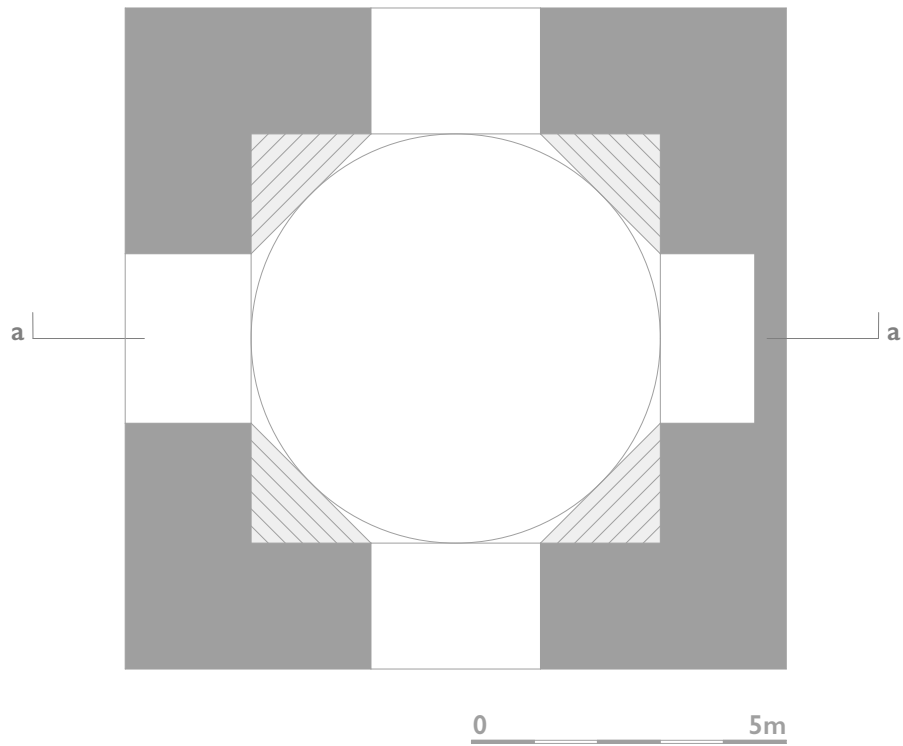


Abbildung 50: Grundriss des Feuertempels von Baze-Hoor in Khorasan



Abbildung 51: Schnitt des Feuertempels von Baze-Hoor in Khorasan



Abbildung 52: Eckausbildung mit Holz im Feuertempel von Baze-Hoor in Khorasan

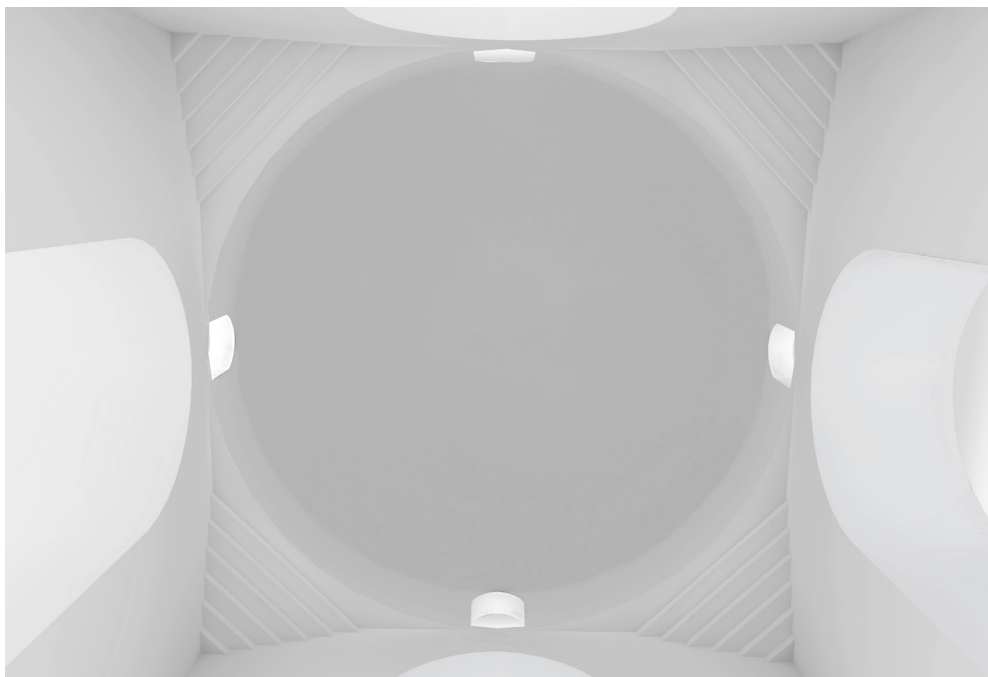


Abbildung 53: Blick in die Kuppel des Feuertempels von Baze-Hoor in Khorasan

Später wurde diese Methode auf den gesamten Kuppelbau ausgeweitet, speziell zur Überwölbung kleinerer Räume (typische Dimensionen zwischen 2,5m und 3,5m), wie Wohnhäuser, Karawansereien und Basare. Hier wurde versucht, die Räume stützenlos mit Holzbalken einer geringeren Länge als der Raumbreite zu überdecken. Die Konstruktion erfolgt durch Anordnung mehrerer aufeinanderliegender, nach innen vortretender Holzbalken, die mittels eines U-förmigen Nagels (genannt „Eskop“) oder alternativ dazu mit den Wurzeln einer Marschpflanze (genannt „Varis“) aneinander befestigt werden [ZOM-2011:S.354].

Diese Technik mit Holzbalken kann auf zwei Arten ausgeführt werden:

- In der ersten Art wird die Kuppelgestalt durch das Übereinandertürmen von Randbalkenlagen erreicht, die um den halben Eckwinkel der jeweils darunterliegenden Schicht nach oben der Mitte zustrebend gelegt werden [LEH-1990: S.24]. Damit entsteht die komplette Wölbung durch Holzbalken. Ein Beispiel dafür befindet sich in der Kashani-Karawanserei in Arak. (Abbildung 54)

- In der zweiten Art erfolgt die Konstruktion wie in der oben genannte Legetechnik der Holzbalken, aber hier werden zwei bis drei Balken in einer Reihe miteinander verbunden. Danach wird eine Wölbung mit ringförmig dicht an dicht verlegte Holzbalken erzeugt, bis eine Kuppel entsteht. Ein Beispiel dafür befindet sich im Basar von Azarshahr (Dekhavareqan). (Abbildung 55)

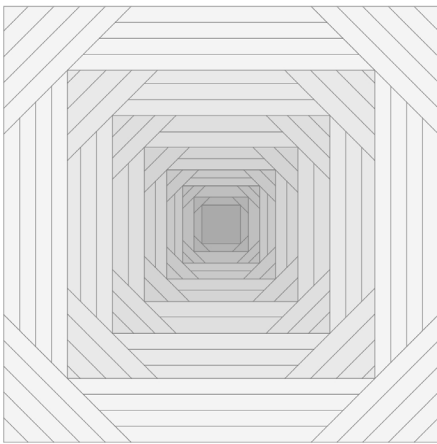


Abbildung 54: Anordnung der Holzbalken in Variation I

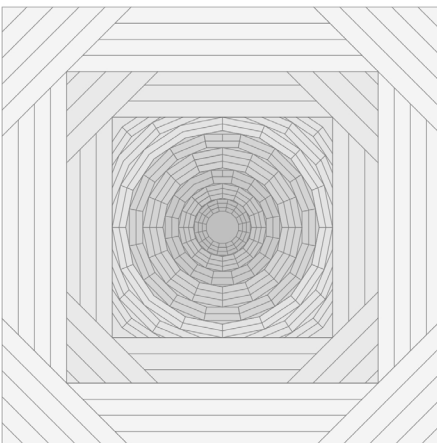
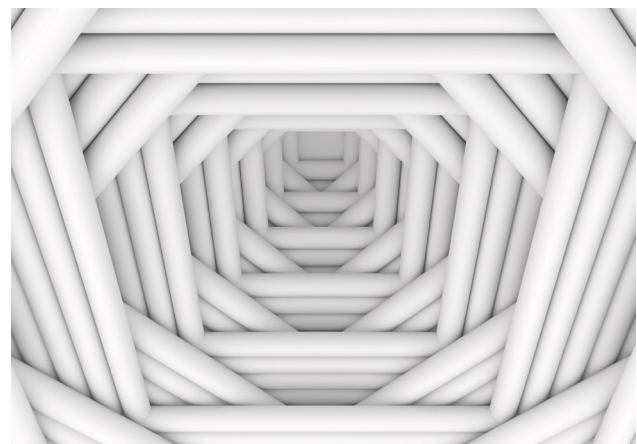
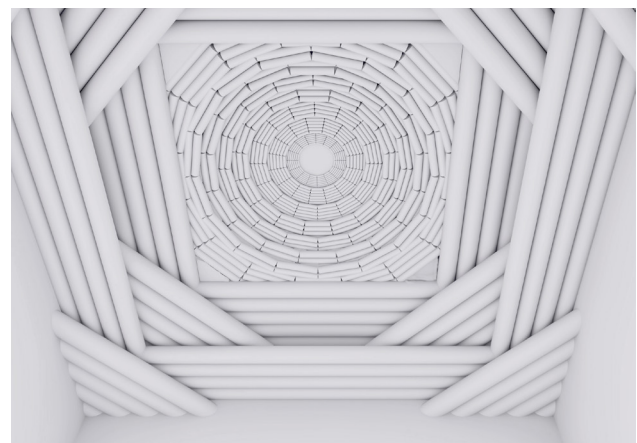


Abbildung 55: Anordnung der Holzbalken in Variation 2



Filpuschtrömpe

Die Trompe gilt als die am häufigsten angewandte Lösung für die Überleitung vom Mauerquadrat zur Kuppel. Die Filpuschtrömpe als älteste Trompenart wurde während der Sassaniden-Dynastie entwickelt. Sie wird auch Trichtergewölbe oder Trichternische genannt. Der Form nach gleicht sie einem liegenden Halb-Hohlkegel, deren Basis in den Innenraum und deren Spitze nach außen gerichtet ist. Dadurch werden die vier Raumecken des Unterbaus abgeschrägt, um den quadratischen Grundriss zur runden Kuppelbasis überzuleiten.

Ein Beispiel dafür befindet sich im Residenzpalast des Begründers des Sassaniden-Dynastie, Ardeschir I. Der Palast liegt 2 Kilometer nördlich der antiken Stadt Firuzabad in der Provinz Fars. Das Gebäude mit einer Fläche von 5700 m² besitzt 3 Kuppeln mit Filpuschtrömpen. Die mittlere Hauptkuppel liegt auf einer 8-eckigen Übergangszone; die 2 kleineren Kuppeln liegen hingegen auf einer 6-eckigen Übergangszone und sind somit ovalförmig. Das macht sie zur Kombizekuppel.

Zum ersten Mal kann hier ein mathematisch geordneter Übergang von der Basis zur Kuppel beobachtet werden. Die besonderen Merkmale dieser Kuppeln sind:

- Großer Kuppeldurchmesser.
- Geringe Außenwandstärke im Vergleich zum Durchmesser



Abbildung 56: Außenansicht des Firuzabad-Palastes in Fars

messer (eine Wandstärke von 2m zum Durchmesser von 13,30m).

Es handelt sich um einschalige Kuppeln, die in Sassaniden-Schalenform gebaut wurden. Die Schalendicke beträgt 2m unten auf der Grundlinie und bleibt auch so bis zu 2/3 der Kuppelhöhe, und verjüngt sich dann bis zur Dicke eines Steins am Kuppelscheitel, die mit einer Öffnung versehen ist. Die Gesamthöhe der Räume vom Boden bis zum Scheitel beträgt 22m; 10m davon ist die Kuppelhöhe selbst. Die Übergangselemente als Filpuschtrömpe wurden hier aus radial in der Trichterspitze zusammenlaufende Steinschichten gebaut und besitzen eine Höhe von ca. 4m [MEM-2-2012: S.436].

Die Wände und auch die Kuppel bestehen größtenteils aus lokalen, behauenen Steinen in relativ kleinen, unregelmäßigen Formen, die mit Mörtel verbunden und anschließend verputzt wurden. Der Palast zählt als das größte in seiner Zeit gebaute Gebäude aus Stein [MEM-3-2014: S.119].



Abbildung 57: Filpuschtrömpe im Firuzabad-Palast in Fars

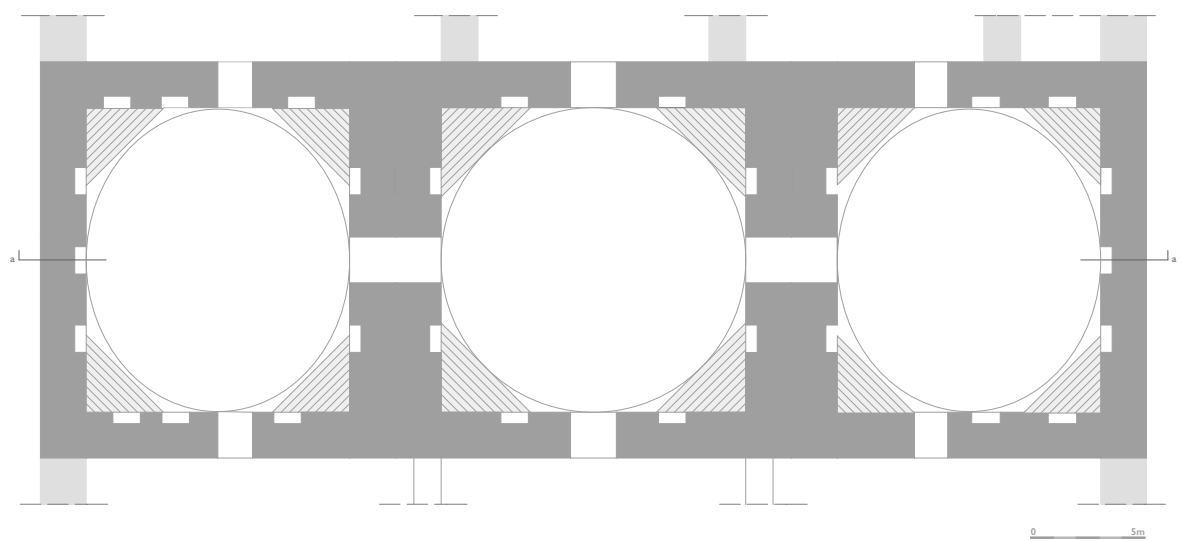


Abbildung 58: Grundriss des Firuzabad-Palastes in Fars

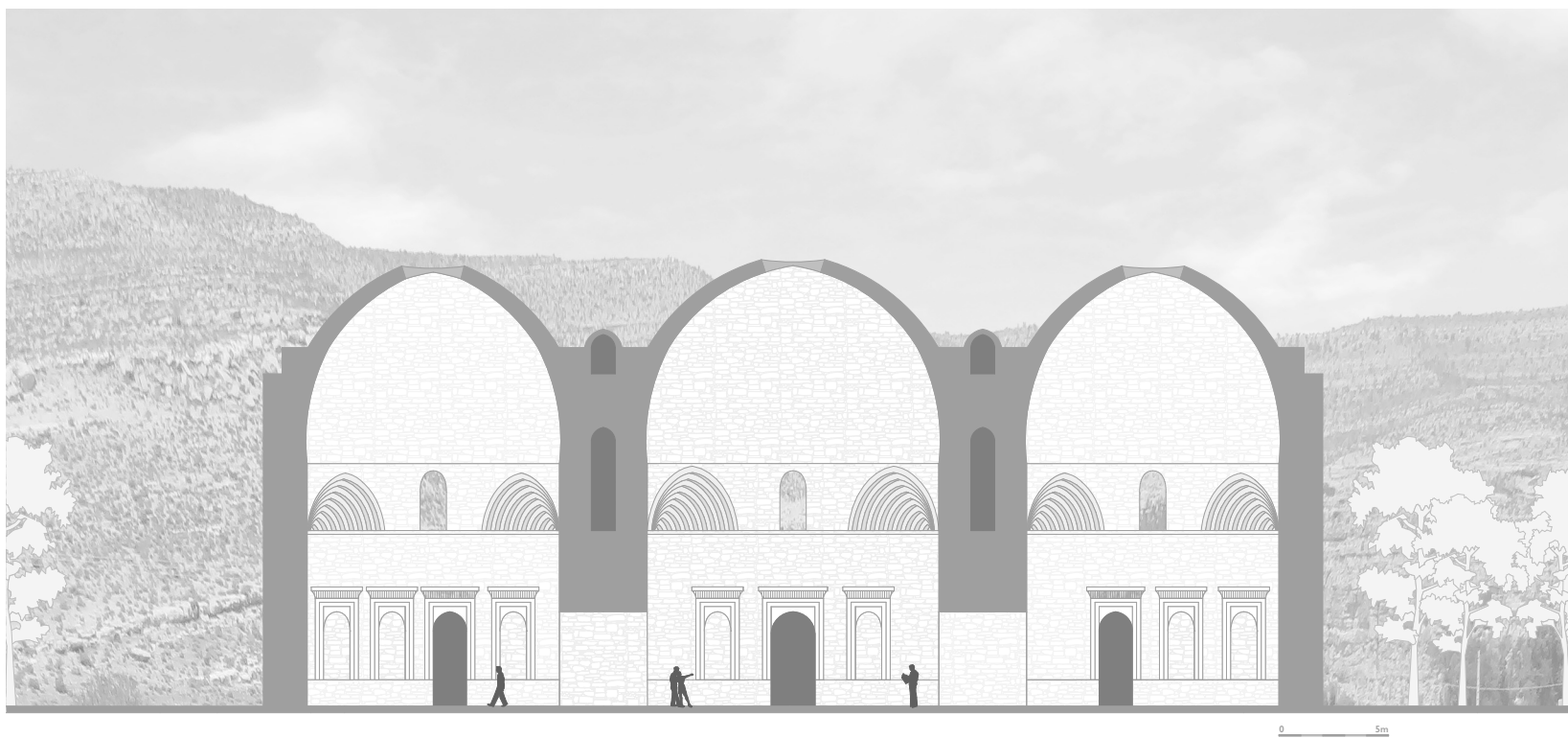


Abbildung 59: Schnitt durch den Firuzabad-Palast in Fars

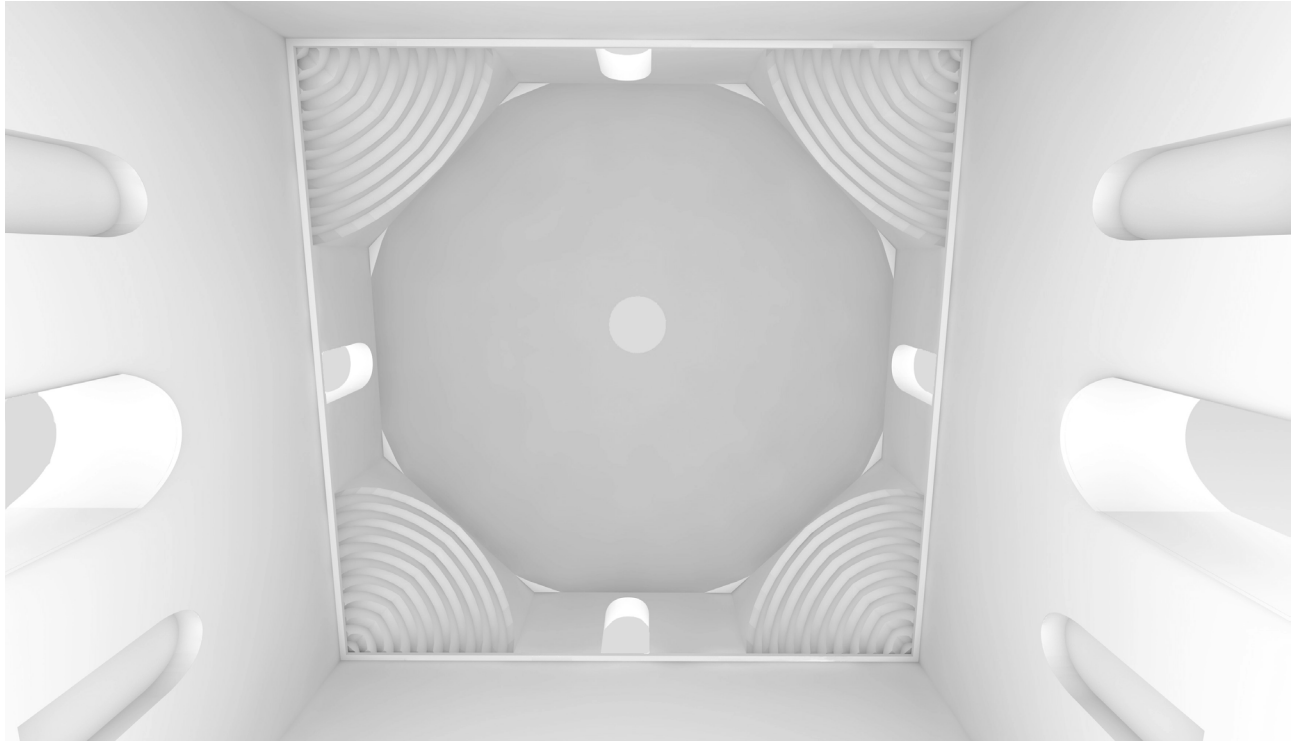


Abbildung 60: Blick in die Kuppel des Firuzabad-Palastes in Fars



Abbildung 61: Filpuschtrömpe im Firuzabad-Palast in Fars

Überwölbung mit Filpuschtrömpe

Die Filpuschtrömpe wurde in der Sassaniden-Zeit nicht nur als eine Technik der Eckausbildung benutzt, sondern auch als Element einer gewölbten Dachabdeckung quadratischer Räume eingesetzt. Die Überwölbung entsteht durch 4 Filpuschtrömpen, deren Halb-Hohlkegel ausgehend von den Raumecken sich in der Mitte treffen.

Zur Konstruktion der Halb-Hohlkegel werden, wie für Filpuschtrömpen allgemein geltend, die Spitzen in die 4 Raumecken gelegt und davon ausgehend im Durchmesser ansteigenden Halbringe nebeneinander angelegt, bis sie sich in der Kantenmitte treffen. Der danach noch bestehende Freiraum wird durch die Anlage sukzessiv kleiner werdenden Ringsegmente aufgefüllt.

Diese Konstruktion ist geeignet für kleinere Räume mit Dimensionen zwischen 2,5 und 3 Gaz. Die Raumhöhe beim Eingang ist typischerweise 160cm bis 180cm. Dadurch erreichte man in der Raummitte Höhen von ca. 350cm [ZOM-2011: S.109].

Noch ein wichtiges Merkmal ist die relativ geringe Wandstärke solcher Überwölbungen im Vergleich zu anderen gewölbten Konstruktionen, die auf die gleichmäßigere Kräfteverteilung über die Wandkante zurückzuführen ist. Gewölbe aus Filpuschtrömpe benötigen eine Wandstärke von ca. 1/6 der Länge der Raum-Innenkanten. Hingegen benötigten andere Bauweisen eine Wandstärke von 2/5. Das bedeutet, ein Raum mit einer Innenkantenlänge von 3 Gaz benötigte eine Wandstärke von 0,5 Gaz [PIR-1992: S.65].

Die Stabilität dieser Überwölbung führte zu ihrer bevorzugten Verwendung in den von Sandstürmen betroffenen Wüstengebieten Irans. Das sind hauptsächlich die östlichen Provinzen Kerman und Khorasan.

Ein Beispiel stellt die Altstadt Rayen oder Arge-Rayen in der Provinz Kerman dar. Die Altstadt wurde aus Lehmziegel gebaut und stammt aus der Sassaniden-Zeit. Hier befand sich einst das Zentrum des Karawanenhandels. Dort kann man die Anwendung dieser Überwölbung in kleineren Räumen finden.



Abbildung 62: Überwölbung mit Filpuschtrömpe in der Altstadt Rayen in Kerman



Abbildung 63: Überwölbung mit Filpuschtrömpen in der Altstadt Rayen in Kerman, aus anderer Perspektive

Eskonj ohne Taghbandi

Der Begriff Eskonj bezeichnet zwei abschrägte Eckgewölbe, die sich in einem Punkt treffen. Die Form des Eskonj ist ähnlich wie ein Klostergewölbe, das diagonal geschnitten ist. Ein Klostergewölbe besteht aus vier rechtwinkligen Durchdringungen von vier gleich hohen gekrümmten Flächen, die zu einem Scheitelpunkt aufsteigen. Im Vergleich besteht ein Eskonj aus zwei dieser gekrümmten Flächen. Eskonj in der Eckausbildung über einem viereckigen Raum setzt auf jeder Seite eine gekrümmte, nach oben schmaler werdende Flächen an, die sich im Scheitel treffen.

Die Eckausbildung vom Typ Eskonj wurde erstmals in der Sassaniden-Dynastie, ab dem 5. Jahrhundert eingeführt, und fand in den folgenden Dynastien weitere Verbreitung.

Die erste gebaute Eskonj befindet sich in dem von König Bahram V. im 5. Jahrhundert n. Chr. errichteten Palast von Sarvestan. Der Palast liegt etwa 90 km südlich der Stadt Shiraz in der Provinz Fars. Die Hauptfassade des Gebäudes liegt auf der Südseite, die einen Hauptiwan und 2 kleinere Iwane auf beiden Seiten besitzt. Der Hauptiwan führt zu einem großen Kuppelsaal, welcher auf 2 Seiten von Wohnbereichen umgeben ist und zu einem Hof führt. Die zwei kleineren Kuppeln liegen an der Ostseite des Palasts [POPE-1972: S.59].



Abbildung 64: Außenansicht des Sarvestan-Palasts in Shiraz

Der Kuppelsaal besitzt einen quadratischen Unterbau mit einer Seitenlänge von 12,55m. Um diese quadratische Form zu einem Kuppelbasiskreis überzuleiten, wurden über jeder Ecke zwei abschrägte Gewölbe angebracht. Die Schnittlinie dieser 2 Gewölbe bildet eine kreisförmige Bogenlinie, ähnlich der Filpuschtrömpe. Damit entsteht ein angenähertes 8-Eck, das dann schließlich in den Kuppelbasiskreis übergeht.

Es handelt sich hier um eine ovalförmige Kuppel in einschaliger Ausführung, die in der Holuchin-Tond-Form ausgeführt wurde. Diese Form war sehr gebräuchlich in der Sassaniden-Zeit. Die Kuppelschale verjüngt sich von unten nach oben, angefangen mit einer Stärke von 1m beim Kuppelfuß und kontinuierlich abnehmend bis zum Kuppelscheitel.



Abbildung 65: Eskonj im Sarvestan-Palast in Shiraz

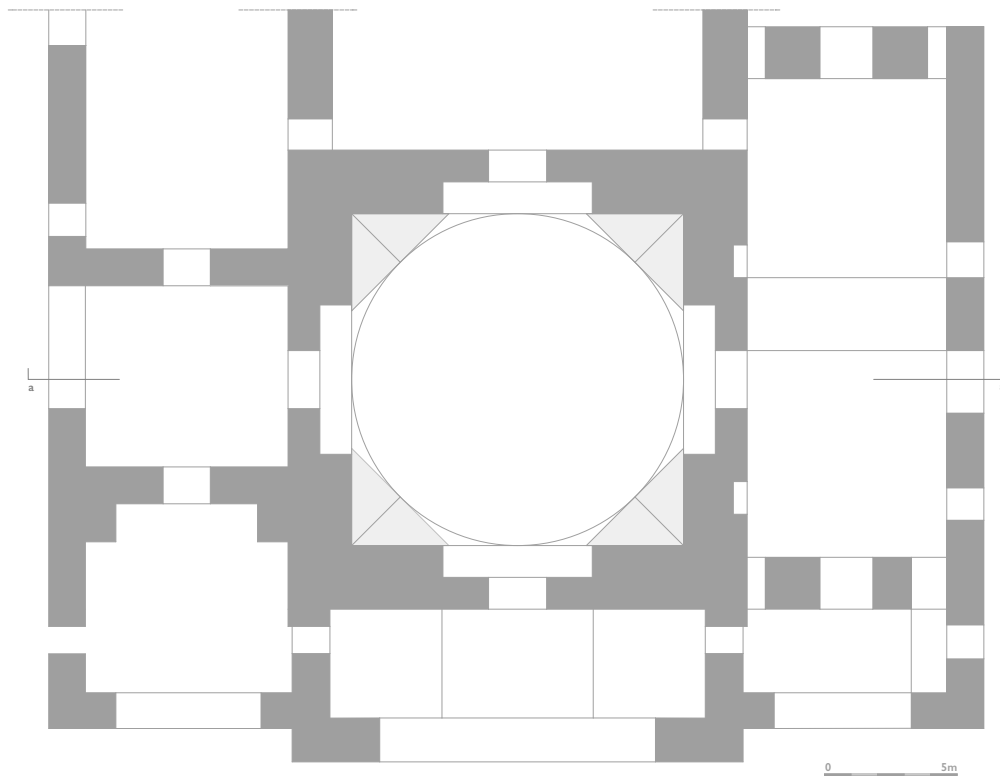


Abbildung 66: Grundriss des Sarvestan-Palasts in Shiraz

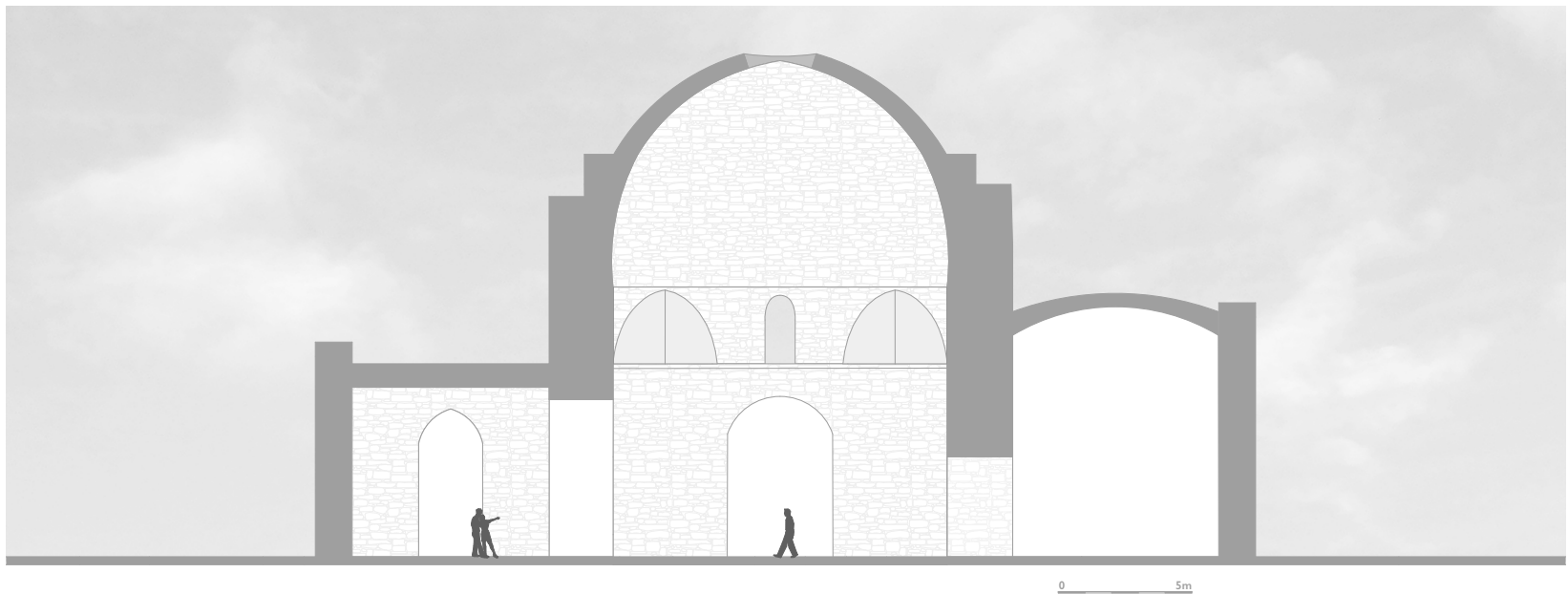


Abbildung 67: Schnitt durch den Sarvestan-Palast in Shiraz

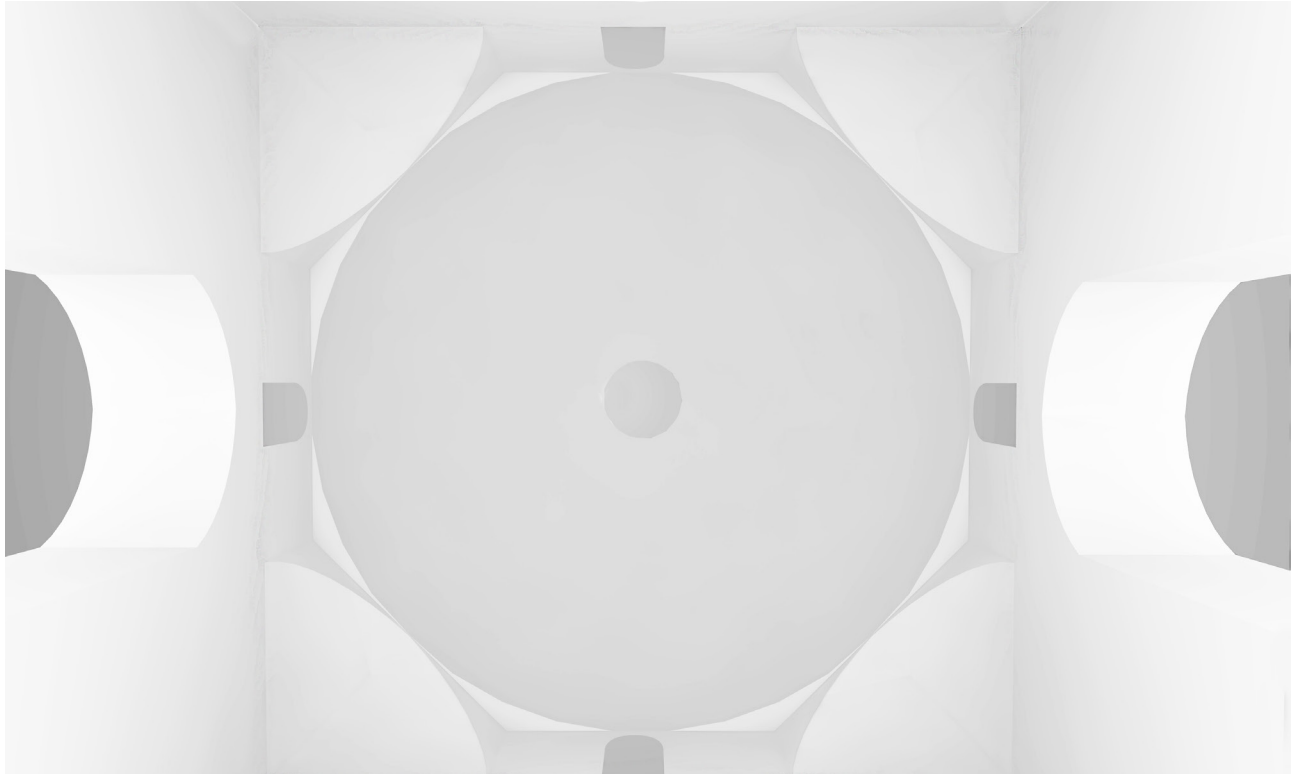


Abbildung 68: Blick in die Kuppel des Sarvestan-Palasts in Shiraz

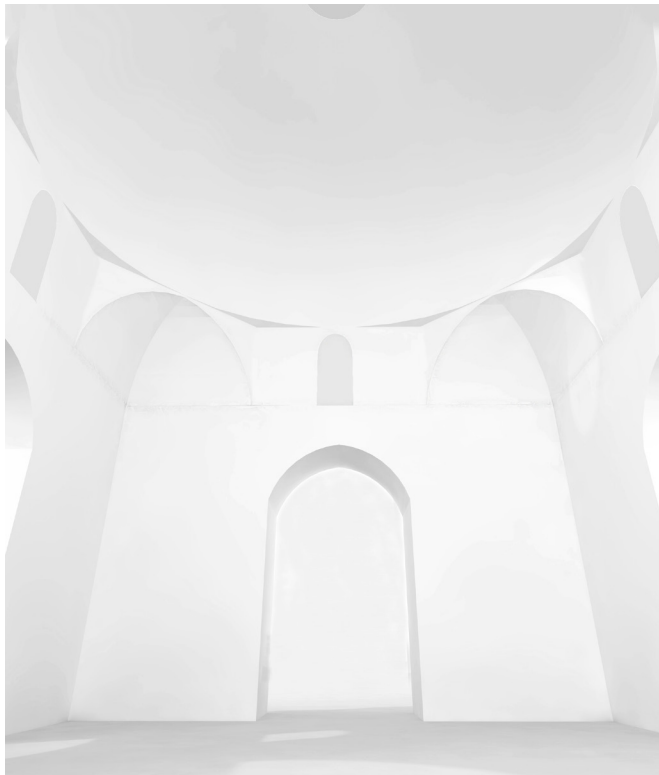


Abbildung 69: Eskonj ohne Taghbandi, vom Sarvestan-Palast in Shiraz

Eckausbildungen in der islamischen Zeit

Patkintrompe

Die Patkintrompe wurde in der Zeit zwischen dem 11. und 12. Jahrhundert n. Chr. während der Seldschuken-Dynastie entwickelt. Sie wurde auch abgetreppte Trompe (Treppentrompe) oder Stufentrompe genannt. Diese Art der Trompe wurde aus übereinander gesetzten, vorkragenden Mauerschichten oder Steinbalken gebildet.

Diese Eckausbildung kann als Weiterentwicklung der Holz-Eckausbildungen der vorislamischen Zeit betrachtet werden und auch als Vorgänger der tragenden wie dekorativen Muqarnaskonstruktionen, die in den folgenden Jahrhunderten Verbreitung fanden.

Die älteste Patkintrompe stammt aus dem 11. Jahrhundert und befindet sich in der Karawanserei Daya Khatun in der Provinz Khuzestan in der Form eines Konsolzwickels, welcher aus Reihen von übereinandergesetzten Ziegelkonsolen aufgebaut wurde [HADE-2005: S.354]. Der Aufbau dieser Eckkonstruktion erfolgt, indem auf einer bestimmten Höhe der Schnittlinie der zwei Wände ein Trägerelement diagonal angebracht wird, das zur

Hälfte seiner Länge aus der Wand hervorragt; die andere Hälfte ist in der Wand verankert. Das Trägerelement besteht entweder aus einem Ziegelstein oder zwei bis drei aufeinander gesetzten Ziegelsteine. Diese Anordnung von Trägerelementen wird nach oben reihenweise fortgesetzt, wobei jede neue Reihe wieder über die darunterliegende hervorragt und ebenfalls mit ca. der Hälfte seiner Länge in der Wand verankert bleibt. Auf diese Weise entsteht eine V-förmige, schrittweise vorkragende Konstruktion, die bis zum Kuppelbasiskreis ein Achteck bildet.

Eine weiterentwickelte Form der Patkintrompe befindet sich im Imamzadeh-Djafar-Mausoleum in Damghan in der Provinz Semnan. Das Mausoleum besitzt einen quadratischen Grundriss mit einer inneren Seitenlänge von 13 m.

Zur Überleitung des Unterbaus in ein 8-Eck wurden über die Ecken des Raumes Taghbandi als eine tragende Auflage zur Stützung der Kuppel gestellt. Dies war eine Eckausbildung, die ab dem 9. Jahrhundert zunehmend Verwendung fand und weiter oben genauer beschrieben wurde. Der entstehende Freiraum hinter dem Bogen wurde mit Ziegelschichten befüllt. Jede Schicht ragt über die darunterliegende zur Hälfte hinaus, bis zum Scheitel.

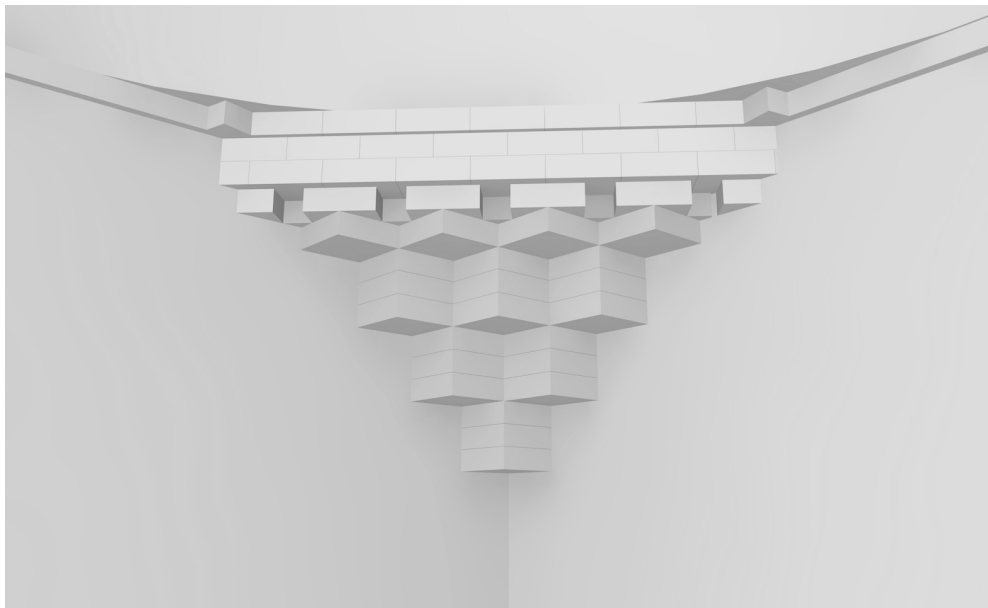


Abbildung 70: Patkin in der Karawanserei Daya Khatun in Khuzestan



Abbildung 71: Aussenansicht des Imamzadeh-Djafar-Mausoleums in Damghan



Abbildung 72: Patkintrompe im Imamzadeh-Djafar-Mausoleum in Damghan

Zwischen den vier Patkintrompen werden noch vier Taghbandi mit Blendbögen eingefügt. So ergibt sich eine achteckige Sockelzone unter der Kuppel. Diese achtseitige Zone trägt noch eine sechzehneckige Sockelzone als angenäherte Form zum Kuppelbasiskreis, welche auf vier Seiten von Fenstern durchbrochen ist.

Die Kuppel hier ist zweischalig mit geringem Schalenabstand. Die äußere Schale wurde zerstört, so dass man nunmehr die innere Schale sehen kann. Die gestufte Außenform der Kuppel entsteht durch Verringerung der Stärke der Kuppelschale um ein Drittel. Damit verjüngt sich die Schale von der Kuppelbasis bis hin zu ihrem Scheitel, um eine günstige Beeinflussung des Tragverhaltens der Kuppel zu schaffen.

Die Innenwände des Unterbaus sind ohne Dekoration verputzt und weiß gehalten, die äußere Fassadenfläche, die Übergangzone und Kuppel sind jedoch mit Backstein verziert. Backstein war ab dem 9. Jahrhundert das meist verwendete Bau- und Dekorationsmaterial, welches durch verschiedene Verlegetechniken eine variantenreiche Fassadengestaltung ermöglichte. Die Ziegel können nicht nur horizontal oder vertikal zueinander verlegt werden, sondern auch winkelig zueinander stehen. Damit entsteht ein dreidimensionaler Rhythmus auf Basis einer bestimmten Geometrie [STIE-2012: S.58]. Hierbei wurden auch andere architektonisch-strukturelle Gliederungseinheiten wie Gesimse oder dekorative Elemente in die Fassade eingeflochten, indem die Backsteine versetzt zueinander gemauert oder in einer Vielzahl von Mustern versetzt wurden.

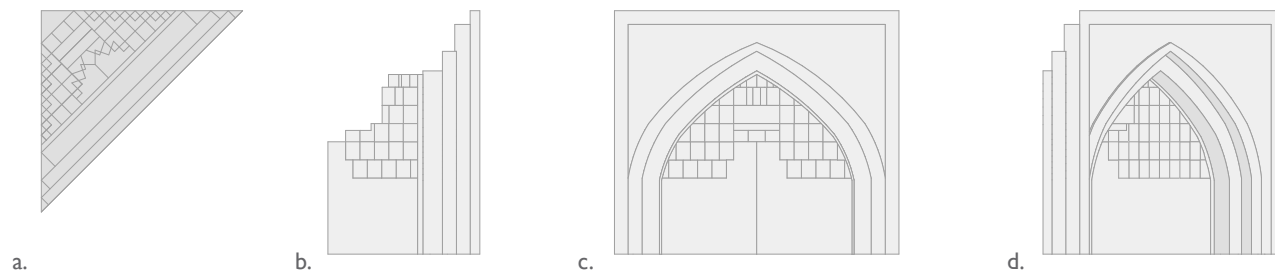


Abbildung 73: Patkintrompe im Imamzadeh-Djafar-Mausoleum: a. Grundriss; b. Schnitt; c. Vorderansicht; d. Seitenansicht

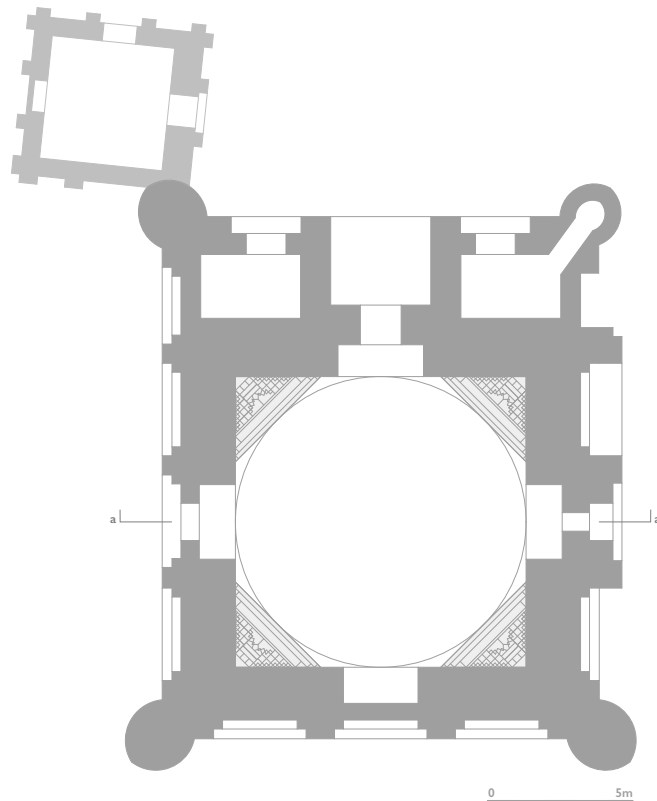


Abbildung 74: Grundriss des Imamzadeh-Djafar-Mausoleum in Damghan

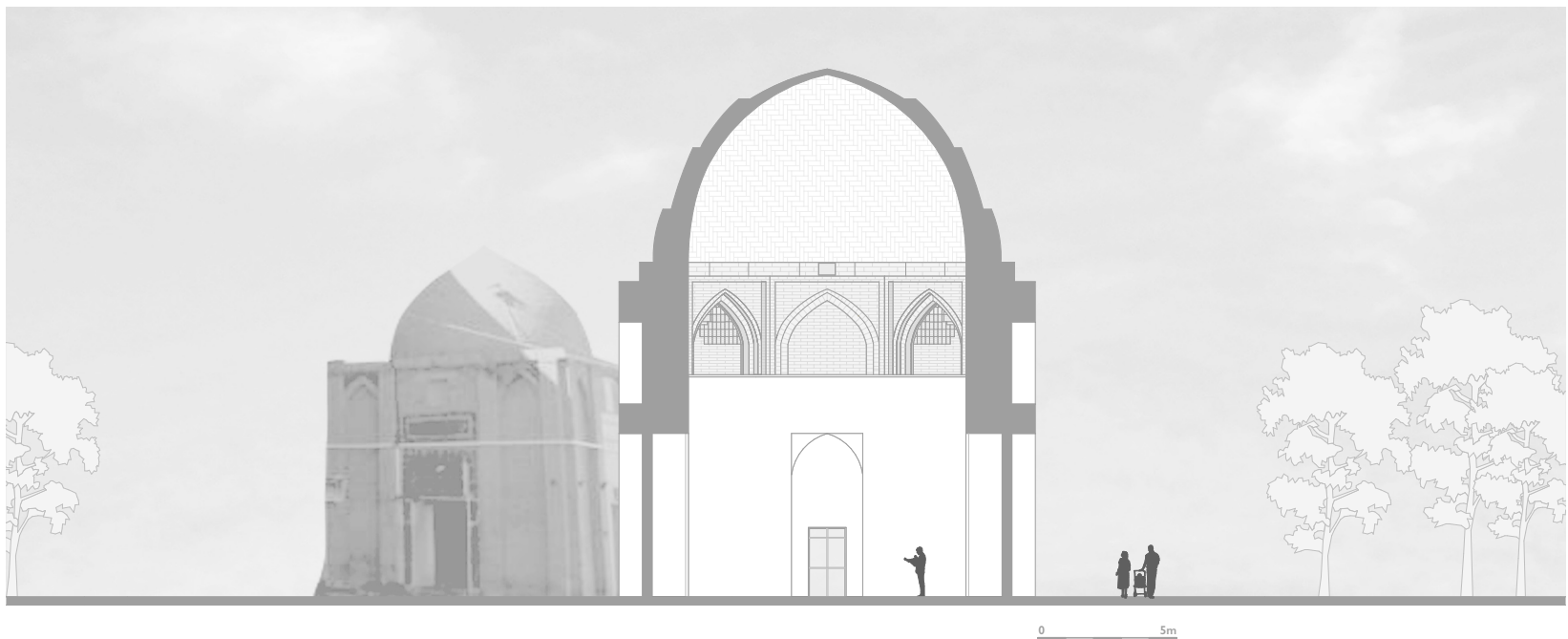


Abbildung 75: Schnitt durch des Imamzadeh-Djafar-Mausoleum in Damghan



Abbildung 76: Patkin im Imamzadeh-Djafar-Mausoleum in Damghan

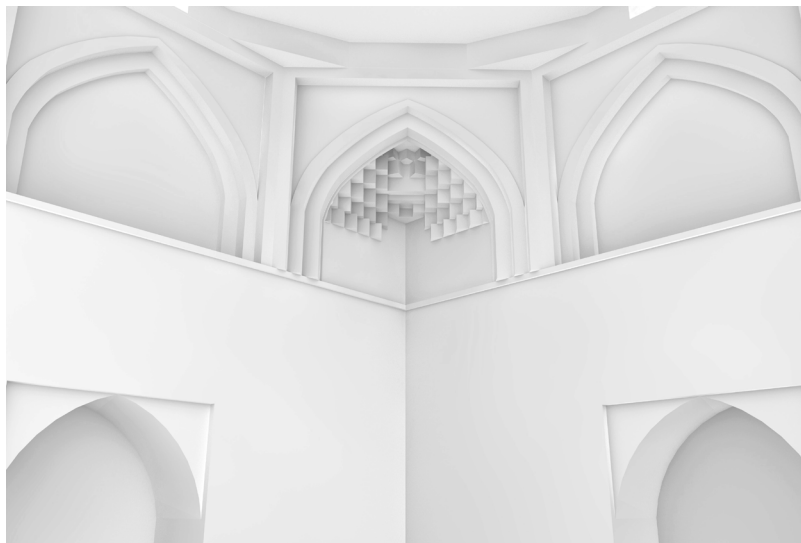


Abbildung 77: Patkin im Imamzadeh-Djafar-Mausoleum in Damghan, Schrägansicht

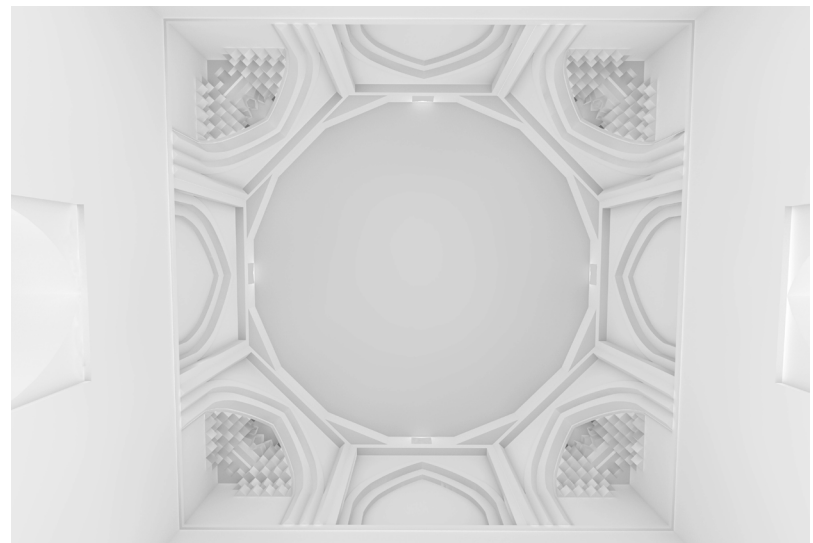


Abbildung 78: Blick in die Kuppel des Imamzadeh-Djafar-Mausoleums in Damghan

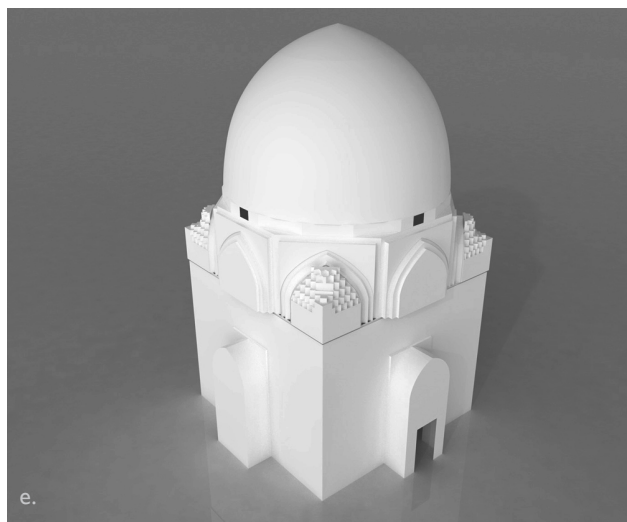
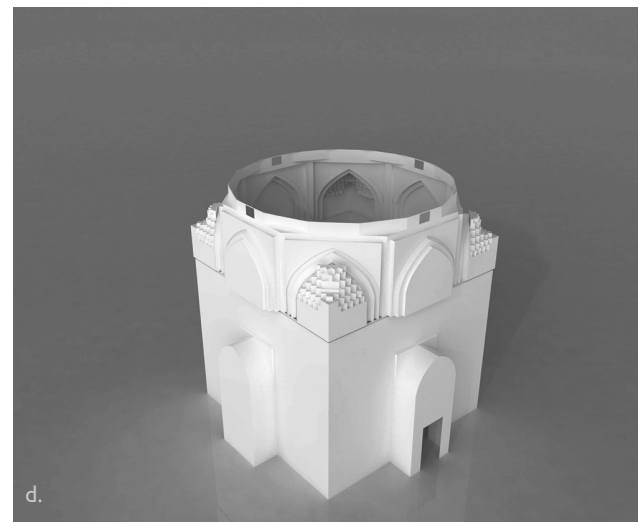
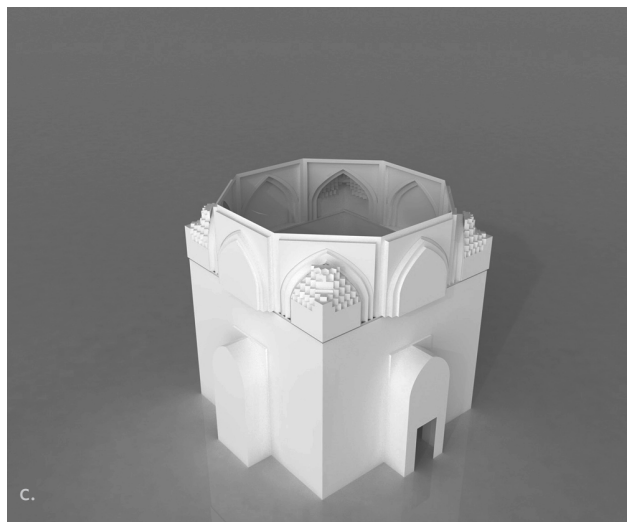
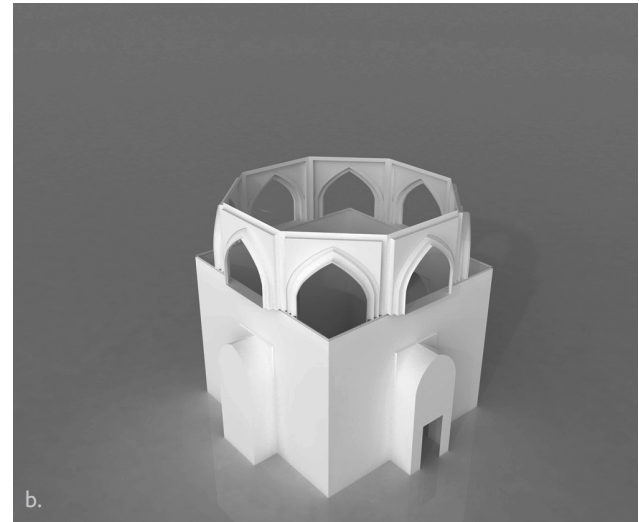
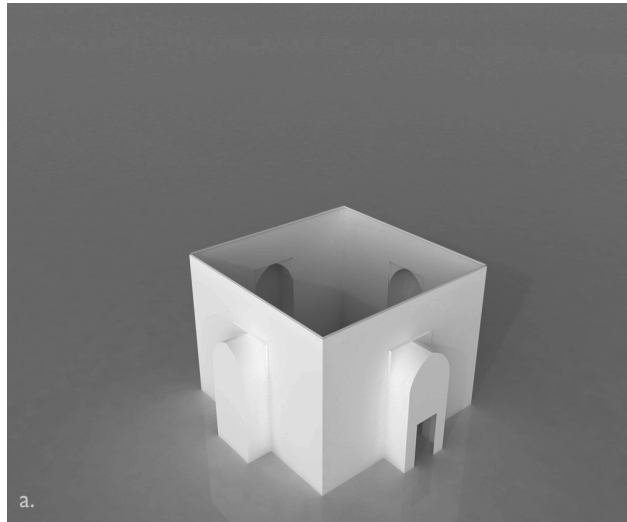


Abbildung 79: 3D-Darstellung der Außenansicht der Eckausbildung im Imamzadeh-Djafar-Mausoleum
a. Unterbau
b. Aufbau des Taghbandis
c. Einbringung des Patkintrompe
d. Einbringung der 16-eckigen Zone
e. Einsetzen der Kuppel

Patkanehtrompe

Das Patkaneh ist in seiner Komplexität die am weitesten entwickelte Trompenart. Die Basis der Entwicklung des Patkanehs liegt in dem Eskonj aus der Sassaniden-Zeit. Das Eskonj besteht, wie bereits erklärt, aus zwei abschrägten Eckgewölben, die sich in einem Punkt treffen. Diese gewölbten Nischen werden in Persisch „Tase“ genannt. Das Tase ist ein nischenartiges, gewölbtes Dreieck, welches als ein Element zur Überleitung der zweidimensionalen Geometrie des Grundrisses zur dreidimensionalen Geometrie des Raumes dient.

Im Laufe der Jahrhunderte hat sich die Form und Anordnung des Tase in der Patkanehtrompe weiterentwickelt. Die ersten Entwicklungsschritte des Patkaneh stammen aus dem frühen 10. Jahrhundert in der Zeit der Samaniden. Damals wurde die Anzahl der Tase in der horizontalen Ebene in den sich über den Ecken befindlichen tragenden Bögen gesteigert. In der Seldschuken-Zeit hat sich diese Entwicklung in der vertikalen Dimension fortgesetzt. Die Tase wurden nach bestimmten geometrischen Regeln reihenförmig übereinandergestapelt. [MAFA-2013: S.47]

Zusammenfassend kann man das Patkaneh als Zusammensetzung einer Anzahl von Nischen bzw. Gewölben (Tase) beschreiben, die reihenartig übereinander platziert sind.

Das Patkaneh hat sowohl im Innenraum als auch im Außenbereich einen vielfältigen Anwendungsbereich. Vom Eckbauelement in der Übergangszone des Kuppelbaus bis zur Bildung der ganzen Dachwölbung kann man zahlreiche Beispiele finden. Auf dem ersten Blick sieht die Anwendung des Patkanehs als ganze Dachwölbung wie eine Weiterentwicklung der Anwendung als Eckbauelement aus. In Wahrheit wurden aber beide Anwendungsformen gleichzeitig entwickelt und auch unabhängig voneinander weiterentwickelt.

Die Konstruktionstechnik des Patkaneh kann durch zwei Hauptkategorien betrachtet werden: Hinsichtlich der Bautechnik können Patkaneh in 2 Kategorien eingeteilt werden:

1. Patkaneh als gestalterisches und konstruktives Element
2. Patkaneh als rein gestalterisches Element.

Die erste Kategorie umfasst Patkanehelemente (Tase), deren gestalterische Wirkung sich durch die geometrische Anordnung als Füllelement zwischen den tragenden Bögen entfaltet. Gleichzeitig werden sie aus konstruktiver Sicht zur Ableitung der Gewichtskräfte eingesetzt. Beispiele dieser Art von Patkaneh können in der Freitagsmoschee in Nain, im Kuppelsaal der Freitagsmoschee von Isfahan und im Mausoleum der Zwölf Imame von Yazd vorgefunden werden.

Abbildung 80: Freitagsmoschee von Nain



Abbildung 81: Freitagsmoschee von Isfahan



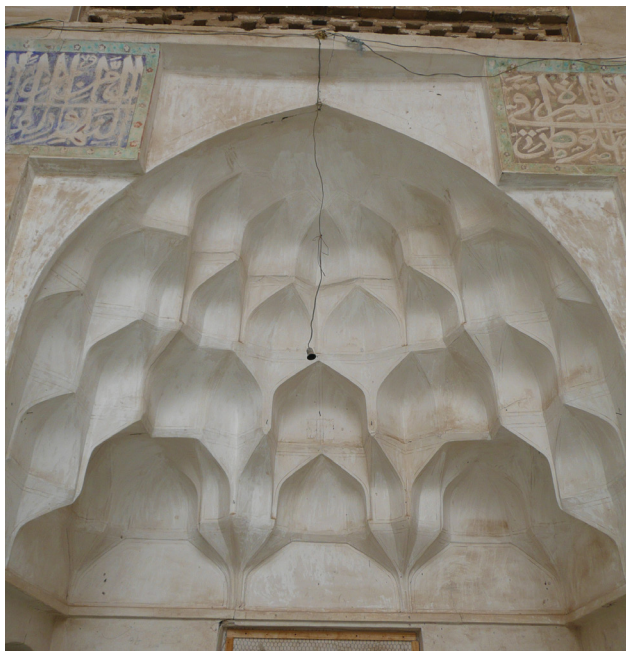


Abbildung 82: Nischenwölbungen des Mihrab in der Freitagsmoschee von Natanz



Abbildung 83: Dekorative Elemente auf dem Minarett der Freitagsmoschee von Natanz

In der zweiten Kategorie hat das Patkaneh keine tragende Funktion und wird als rein dekoratives Element eingesetzt. Beispiele hierfür sind:

- Die Eckbauelemente in der Freitagsmoschee von Varamin
- Die Eckbauelemente in der Freitagsmoschee von Yazd
- Die Abdeckungselemente in den Nischenwölbungen des Mihrab und die dekorativen Elemente auf dem Minarett der Freitagsmoschee von Natanz.

Diese Arten rein gestalterischer Patkaneh haben eine Ähnlichkeit zu Muqarnas und werden daher oft damit verwechselt. Beiden bestehen aus einer Anzahl individueller, kleiner Gewölbefelder. Aus Konstruktionssicht können in beiden Fällen die Gewölbefelder entweder als Füllelement der Eckausbildung von ihrem tragenden Element aufgehängt werden, oder bei kompletter Wölbung als Kragsteine aus dem Mauerwerk herauswachsen [HEME-2014: S.160].

Der Unterschied liegt in deren geometrischen Struktur. Gestalterische Patkaneh besitzen nur vertikale Elemente, auch „Tase“ genannt. Die Tase werden von unten nach oben übereinandergelegt. Im Gegensatz dazu hat das Muqarnas zusätzlich auch horizontale, flache Elemente, die als Hauptelemente der Konstruktion benutzt werden.

Ein weiterer Unterschied besteht im Kompositionsprinzip der Einzelteile. Die Zusammensetzung dieser Einzelteile erfolgt in beiden Fällen nach bestimmten geometrischen Grundmustern. Diese Grundmuster sind Gestaltungseinheiten, die in einem zweidimensionalen Plan wiederholt nebeneinander verlegt werden und dann in dreidimensionaler Form überführt die geometrischen Ornamentik ergeben. Das Muqarnas besitzt fünf Grundmuster: Quadrat, Raute, Drachen-Viereck, konkaves Drachenviereck und Hingegen besitzt das Patkaneh nur zwei Grundmuster: Quadrat und Raute [MAFA-2013: S.47].

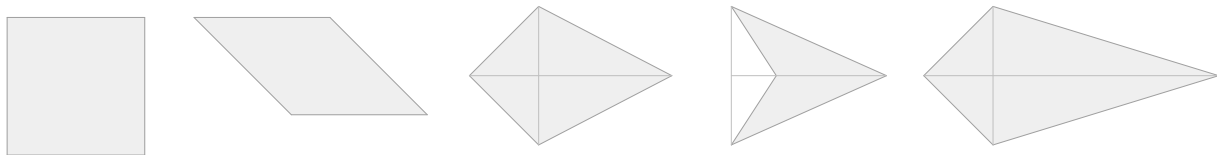
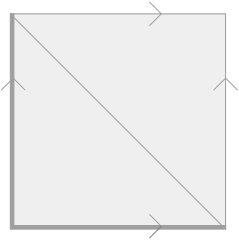
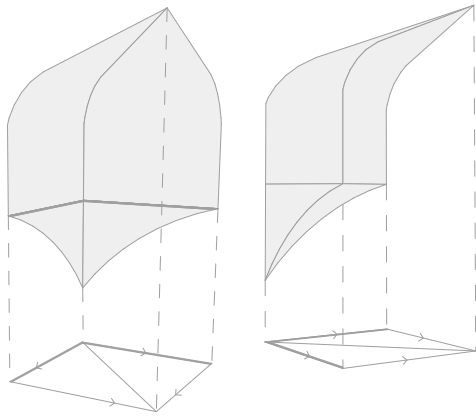
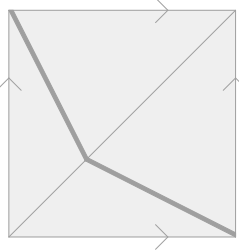
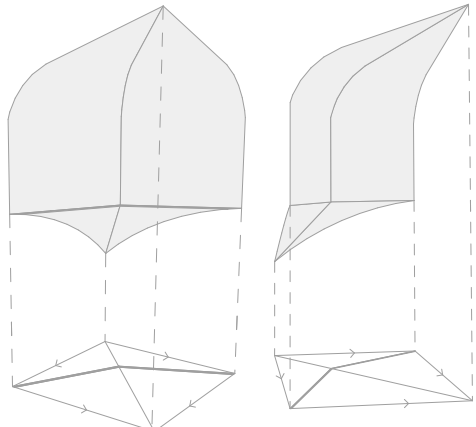
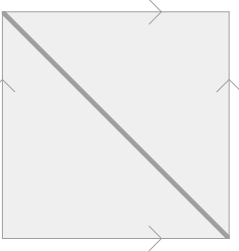
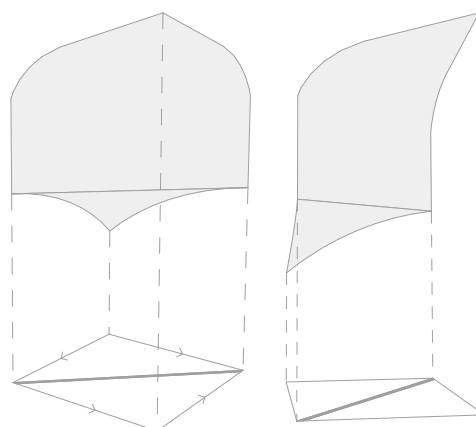


Abbildung 84: Grundmuster des Muqarnas

Die folgende Tabelle enthält die Teilung der Gestaltungseinheiten des Patkaneh:

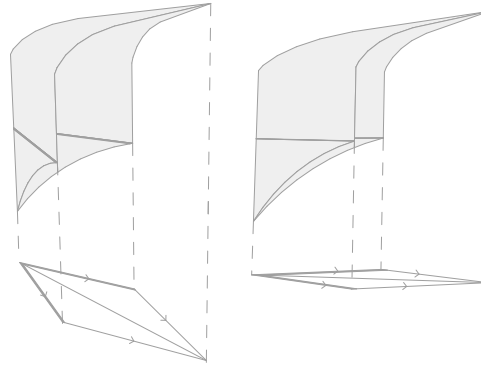
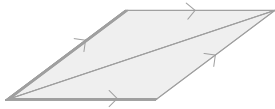
Quadrat als Gestaltungseinheit für Patkaneh	Darstellung	Beispiel
Q1 		Freitagsmoschee von Yazd 
Q2 		Mausoleum von Bayazid in Bastam 
Q3 		Freitagsmoschee von Golpayegan 

Quadrat als Gestaltungseinheit für Patkaneh

Darstellung

Beispiel

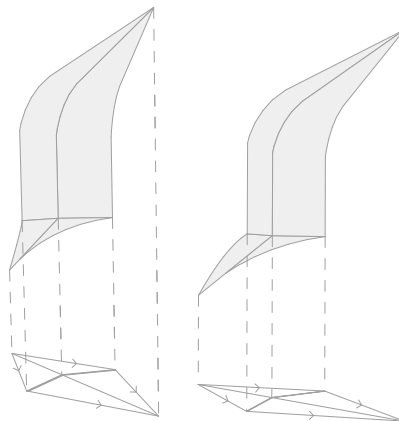
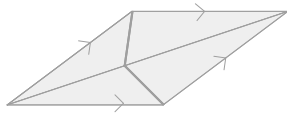
R1



Freitagsmoschee von Golpayegan



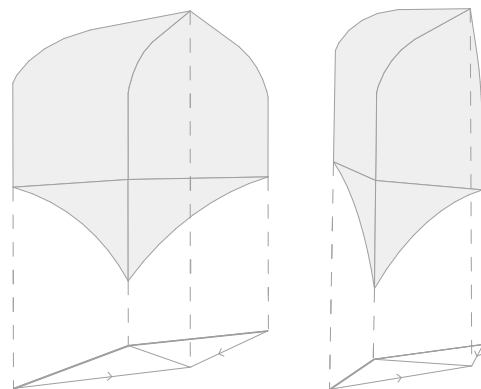
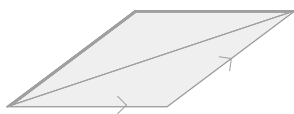
R2



Freitagsmoschee von Natanz



R3



Freitagsmoschee von Isfahan



Um die Entwicklung der Patkaneh zu veranschaulichen, werden in den folgenden 2 Abschnitten Beispiele von den ersten bis zur fortgeschrittenen Entwicklung angeführt und beschrieben.

Frühe Beispiele der Patkaneh-Entwicklung

Die frühesten Beispiele des Patkaneh stammen aus dem frühen 10. Jahrhundert im Samaniden-Mausoleum als Ecklösung für den Kuppelbau, im Jurjir-Portal als Nischenwölbung in einem halbgeschlossenen Raum sowie als ganze Dachwölbung mit Patkaneh in der Moschee von Nain.

I. Samaniden-Mausoleum

Die ersten Entwicklungsschritte von dem Patkaneh können im Samaniden-Mausoleum von Buchara aus dem frühen 10. Jahrhundert beobachtet werden. Die Samaniden haben von 819 n.Chr. bis 1005 n.Chr. regiert. Dieses Mausoleum wurde als Grabmal für Ismail Samanis gebaut. Es zählt zu den ältesten Bauwerken von Buchara und ist eines der wenigen aus vormongolischer Zeit

Die cremefarbenen Backsteine, aus denen das Mausoleum gebaut ist, wurden ebenfalls zur Verzierung der Fassade und des Innenraums verwendet. Durch Zusammenfügung der Backsteine zu geometrisch verflochtenen Mustern erreichte man, dass aus dem Baumaterial gleichzeitig Dekorationsmaterial wird.

Das Grabmal besitzt einen quadratischen Grundriss mit einer Seitenlänge von 10m. Es öffnet sich von vier Seiten zu der umgebenden Landschaft. An den vier Ecken der Fassade liegen jeweils bis zur Höhe der Bogenstellung Dreiviertelsäulen. Oberhalb dieser Säulen läuft um das Gebäude eine Blendarkade als Außengesims, welches zur Überleitung des quadratischen Unterbaus zur halbkreisförmigen Kuppel dient. Die Kuppel wurde von vier kleinen Nebenkuppeln an den Ecken umgeben [STIE-2012: S.34].

Der Innenraum ist ebenfalls mit Ziegelmustern dekoriert. Um hier den viereckigen Gebäudegrundriss zum Achteck überzuführen, wurde über jeder Raumecke zuerst ein Bogen mit Umrahmung (Taghbandi) eingefügt.



Abbildung 85: Aussenansicht des Samaniden-Mausoleums von Buchara

Hinter den Bögen liegt die Trompennische, die in der Mitte durch eine Rippe (Gurtbogen) zweigeteilt wird. Jeder Teil wurde mit Tase befüllt. Es handelt sich hier um rein dekorative Tase ohne Lastaufnahme, daher wurden sie von Fenstern durchbrochen. Zwischen den vier Eckbauten liegen vier Bögen mit Umrahmungen. Durch die Komposition von Eckbauten und dazwischenliegenden Bögen entsteht eine 8-eckige Form über dem quadratischen Unterbau. Das Achteck stützt die Vorsprünge einer schmalen 16-eckigen Zone. Diese führt zu einem 32-eckigen Band, auf dem der Fußkreis der Kuppel liegt. Die halbrunde Kuppel wurde einschalig gebaut. Die Last der Kuppel wird durch die Bögen und Rippen ins Mauerwerk übergeleitet.



Abbildung 88: Innenraum des Samaniden-Mausoleums in Bucharā

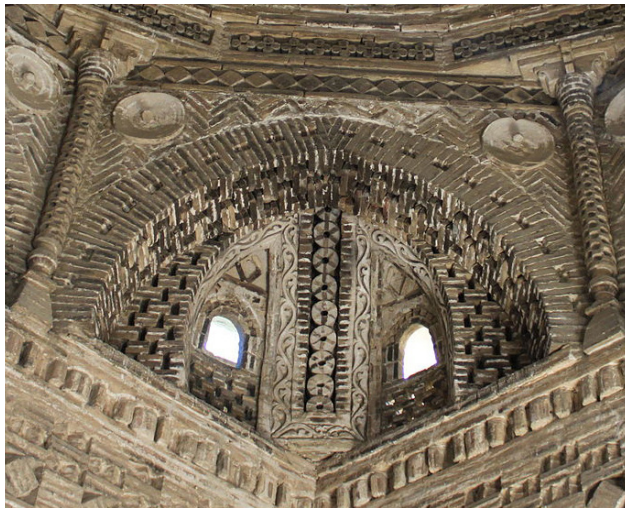


Abbildung 86: Eckausbildung nach Patkaneh im Samaniden-Mausoleum in Bucharā

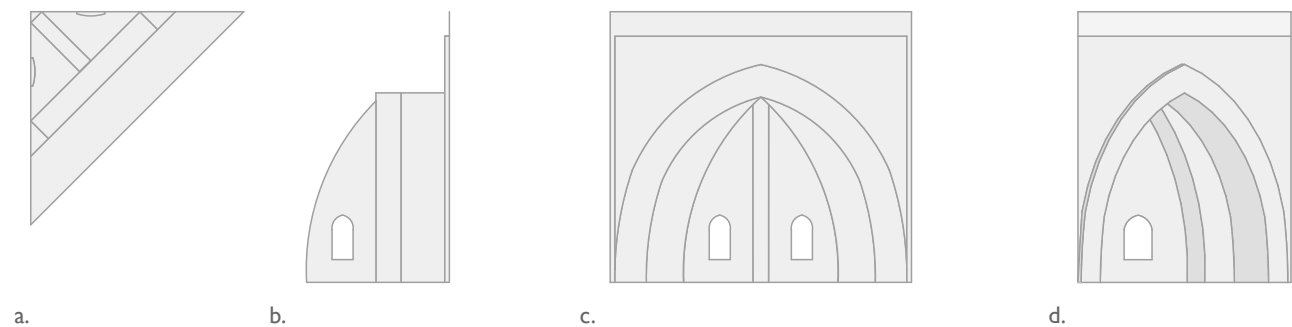


Abbildung 87: Patkintrompe im Samaniden-Mausoleum in Bucharā: a. Grundriss; b. Schnitt; c. Vorderansicht; d. Seitenansicht

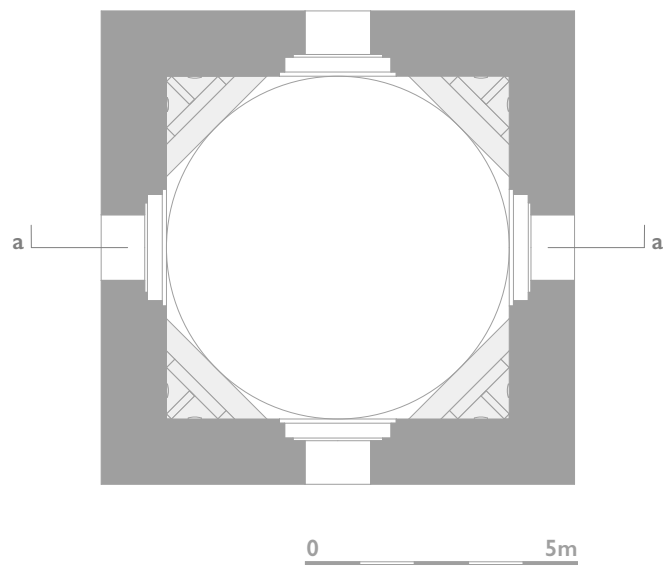


Abbildung 89: Grundriss des Samaniden-Mausoleums in Bucharā



Abbildung 90: Schnitt durch das Samaniden-Mausoleum in Bucharā



Abbildung 91: Patkanehtrompe im Samaniden-Mausoleum in Bucharā



Abbildung 92: Patkanehtrompe im Samaniden-Mausoleum in Bucharā, Schrägansicht

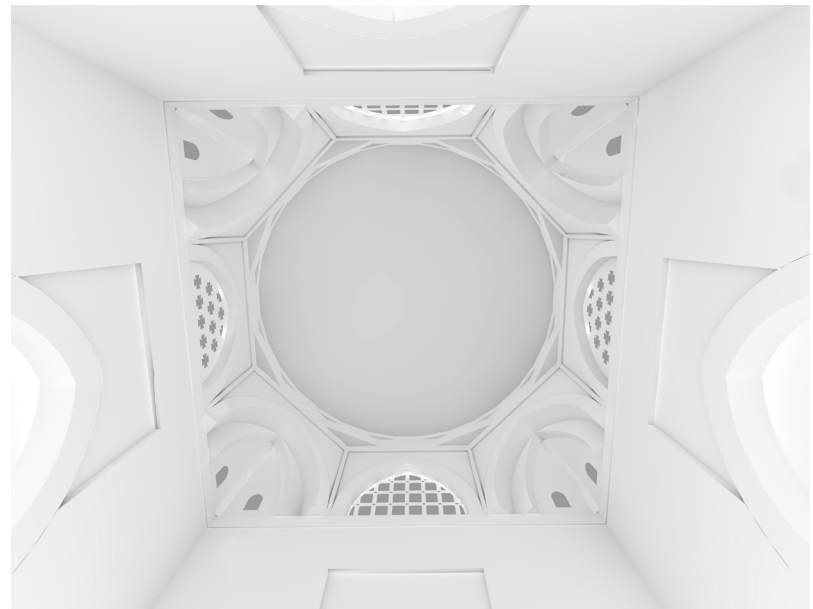


Abbildung 93: Blick in die Kuppel des Samaniden-Mausoleums in Bucharā

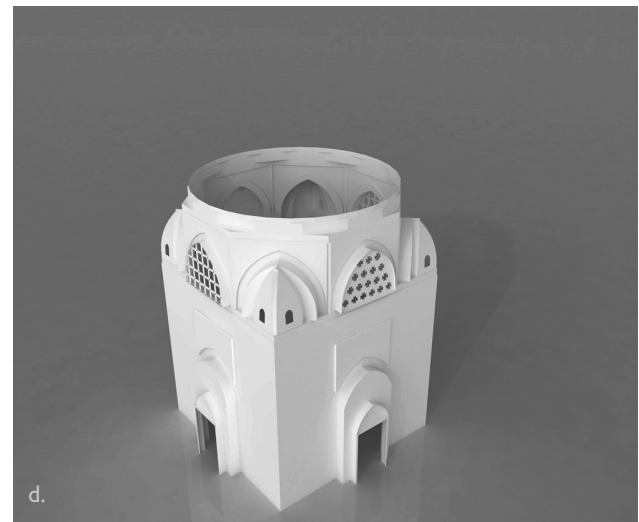
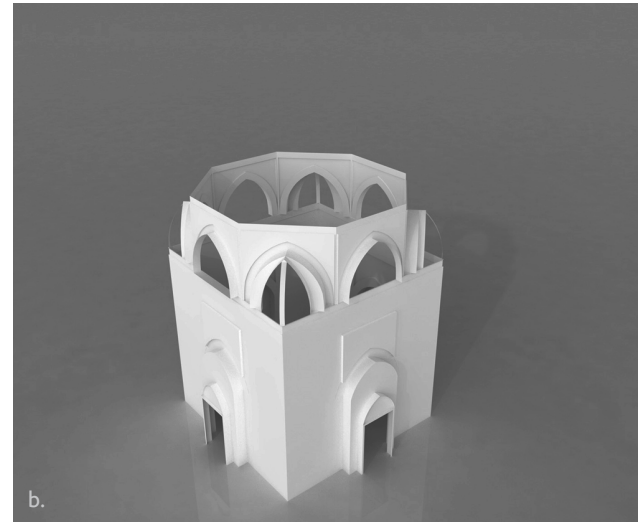
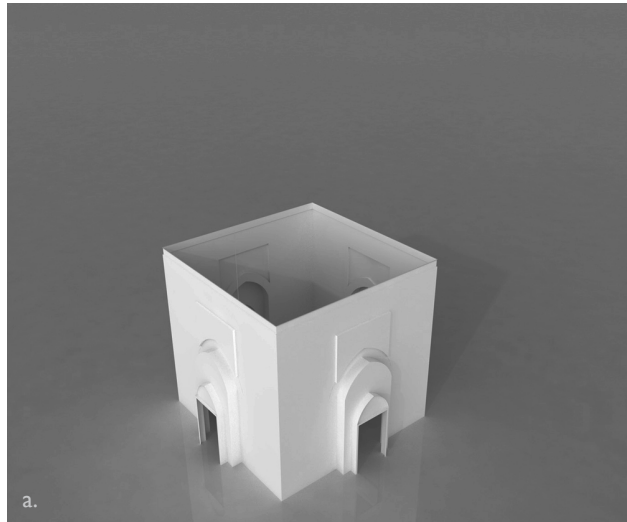


Abbildung 94: 3D-Darstellung der Außenansicht der Eckausbildung im Samaniden-Mausoleum
a. Unterbau
b. Aufbau des Taghbandis
c. Einbringung des Patkanehtrompe
d. Einbringung der 16-eckigen Zone
e. Einsetzen der Kuppel

2. Jurjir-Portal

Ein anderes Beispiel früher Patkaneh ist das Jurjir-Portal in Isfahan. Das Portal ist der einzig erhaltene Teil der Jurjir-Moschee aus dem frühen 10. Jahrhundert zur Zeit der Buyiden-Dynastie. Auf dem Platz der Jurjir-Moschee wurde im 17. Jahrhundert (1656) eine neue Moschee gebaut – die Hakim-Moschee. Das Jurjir-Portal befindet sich im Eingangsbereich auf der Nordostseite dieser Moschee [MEM-I-2012: S.294].

Das Jurjir-Portal gehört zu den schönsten und ältesten Exemplaren des ornamentalen Stils aus Isfahans früher Zeit. Hier zeigt sich in besonders schöner Ausführung die dekorative Technik aus Backsteinen und Gipsverzierungen mit geometrischen und pflanzlichen Mustern.

Die Fassade des Portals mit einer Breite von ca. 11,35m besteht aus zwei seitlich herausragenden Mauerstücken von jeweils 3,95m Breite und einem mittleren, nischenartig zurückliegenden Eingangsbereich in ihren Rechteckrahmen. Der Bogen der inneren Eingangsnische ruht auf eleganten, feinen Säulchen. Die Nischenwölbung dahinter wird von zwei Halbbogenrippen senkrecht förmig unterteilt. Die zwei seitlichen Teile wurden mit Tase abgeschlossen, der mittlere Teil offengelassen.

In diesem Beispiel wurde das Patkaneh nicht als Eckbauelement verwendet, sondern in einem halb geschlossen Raum gebaut. Dadurch entstand eine damals neuartige Kombination zwischen tragenden Bögen und gewölbten Nischen (Tase), die in späteren Zeiten also Vorbild für die Entwicklung verschiedener geometrischer Anordnungen des Patkaneh benutzt wurde.

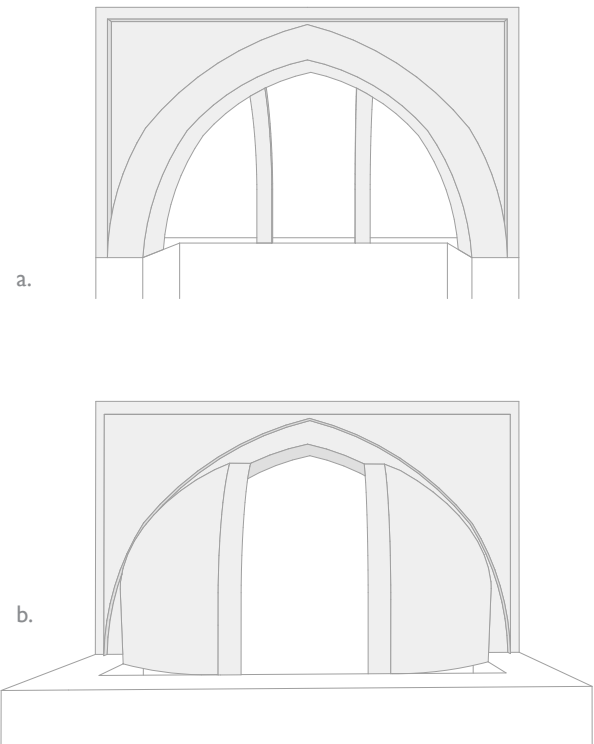


Abbildung 95: a. Vorderansicht mit dem eingesetzten Taghbandi samt zwei Halbbogenrippen; b. Rückenansicht, mit den 2 eingesetzten Tase



Abbildung 96: Portal der Jurjir-Moschee in Isfahan



Abbildung 97: Patkaneh über dem Jurjir-Portal in Isfahan

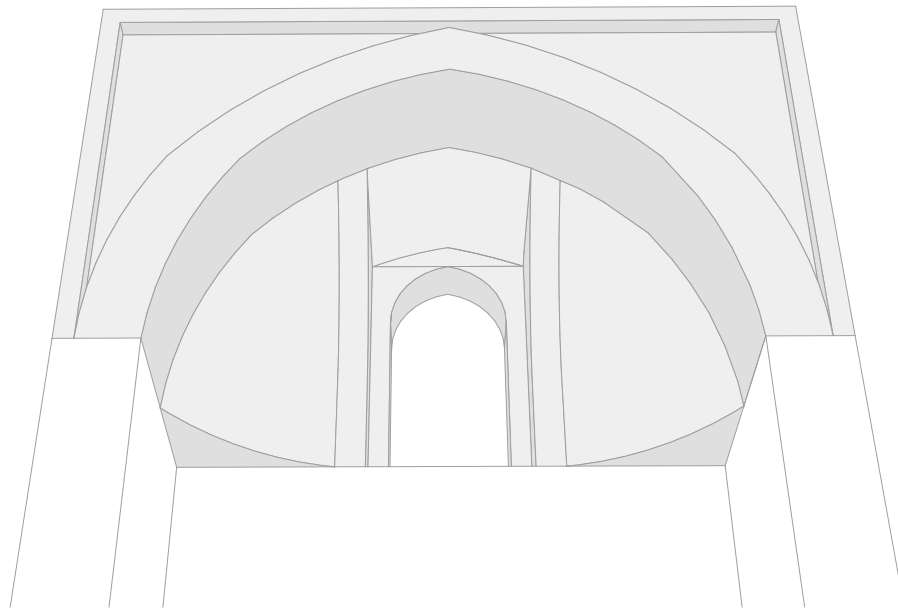


Abbildung 98: 3D Darstellung des Patkanek des Jurjir-Portals in Isfahan

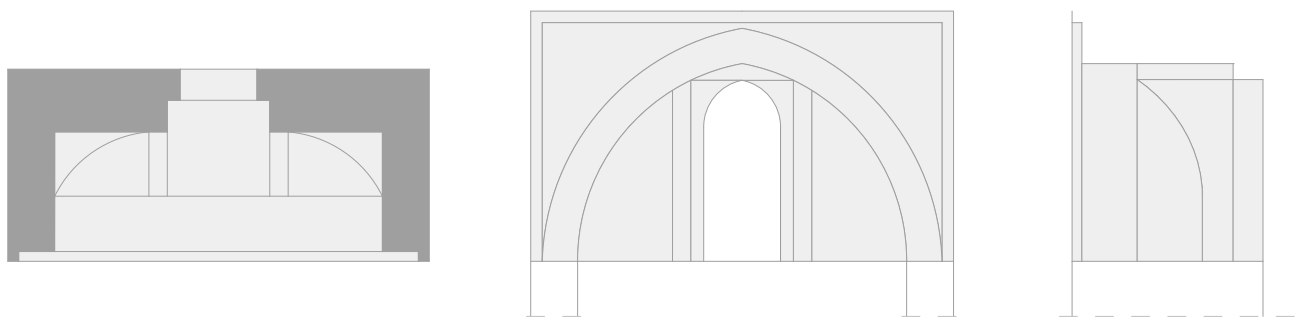


Abbildung 99: Patkaneh über dem Jurjir-Portal in Isfahan: a. Grundriss; b. Vorderansicht; d. Seitenansicht

3. Freitagsmoschee von Nain

Das dritte Beispiel für den Einsatz des Patkanehs ist die Freitagsmoschee von Nain in der Provinz Isfahan. Hier wird das Patkaneh weder als Eckbauelement (wie im Samaniden-Mausoleum) noch als Nischenwölbung im halbgeschlossenen Bereich (wie beim Jurjir-Portal) verwendet. Das Patkaneh wird in diesem Fall zur Bildung der Gesamtwölbung benutzt.

Diese Moschee wurde im 9. Jahrhundert errichtet und bis ins 12. Jahrhundert immer wieder erweitert. Sie zeigt aber heute noch ihren ursprünglichen Charakter. In ihrer späteren Bauphase gehört die Moschee von Nain zu den ältesten Vier-Iwan-Anlagen im Iran [HADE-2005: S.110].

Die Moschee besitzt einen durch Säulenarkaden umgebenen rechteckigen Innenhof. Die vier überhöhten Mittelbögen an jeder Seite des Hofes schaffen die Räumlichkeit als Vier-Iwan-Struktur. Unterhalb des Hofes liegt ein großes Kellergewölbe mit seitlichen Räumen, die im Winter als Gebetsräume benutzt werden können. Sie werden durch Schächte mit Alabasterplatten von der Decke belichtet [STIE-2012: S.44].

Die Moschee besitzt keinen großen Kuppelsaal, sondern kleinere Überwölbungen in Säulenhallen um den Innenhof. Zwei davon, eine auf der Nordostseite und die andere auf der Südwestseite der Moschee, sind mit Patkaneh überdeckt.

Auf der Südwestseite liegt die Überwölbung über einem rechteckigen Raum oberhalb des Mihrabs – die Gebetsnische in Moscheen, die die Gebetsrichtung Qibla anzeigt. Wir beobachten hier die anfängliche Entwicklung der Technik zur Anordnung der Tase – sie wurden noch nicht nach genauen geometrischen Berechnungen angeordnet. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Beispielen liegen die Tase nicht in den Ecken des Raums, sondern auf den Kanten des Unterbaus. Zur Kuppelwölbung wurden die Tase in zwei Reihen eingefügt. In der ersten Reihe wurden zwei Tase in die Mitte der nördlichen und südlichen Kanten eingesetzt und nur ein Tase in der Mitte der Ost- und Westkanten. Die zweite Reihe besteht ebenfalls aus sechs Tase, die jedoch kleiner sind. Zwischen diesen zwei Reihen gibt es noch abgelenkte Teile, die nach oben aufeinander nach vorne sich neigend aufgesetzt sind, bis die Wölbung entsteht.

Über die genaue Konstruktion dieses Patkaneh gibt es keine schriftlichen Unterlagen. Nach zwei Restaurierungen, die zwischen 1974 und 2005 durchgeführt wurden, kann man die geometrische Anordnung der Tase rekonstruieren. Nach dieser Rekonstruktion wurde die Kuppelgewölbe aus vier jeweils einem Eck umspannenden Bögen gebaut, die die Tase aufnehmen [MEM-I-2012: S.297].

Das zweite, auf der Nordostseite gebaute Patkanehgewölbe liegt über einem quadratischen Raum. Hier werden die Tase bereits nach einer viel genaueren Geometrie angeordnet. In der ersten Reihe gibt es 8 Tase, jeweils 2 auf jeder Kante. Untersuchungen zeigen, dass diese Wölbung aus vier Tragebögen an jeder Ecke des Raumes besteht. Diese werden von 2 senkrechten Rippen unterteilt. Der Freiraum zwischen den Bögen wird mit Tase gefüllt. Diese Konstruktion ähnelt dem Patkaneh des Jurjir-Portals.



Abbildung 100: Hoffassade der Freitagsmoschee von Nain



Abbildung 101: Patkaneh als Gesamtwölbung über die südwestseitige Säulenhalle in der Freitagsmoschee von Nain



Abbildung 103: Patkaneh als Gesamtwölbung über die nordseitige Säulenhalle in der Freitagsmoschee von Nain

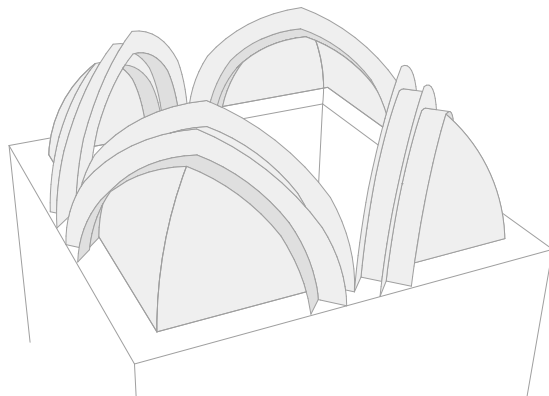
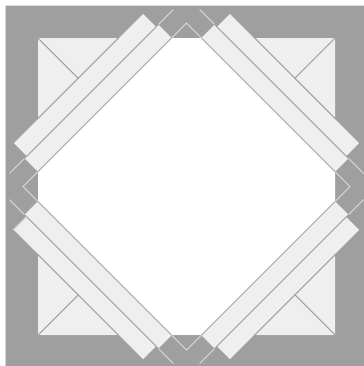


Abbildung 102: Rekonstruktion der geometrischen Anordnung der Tase in der südwestseitigen Überwölbung der Freitagsmoschee von Nain

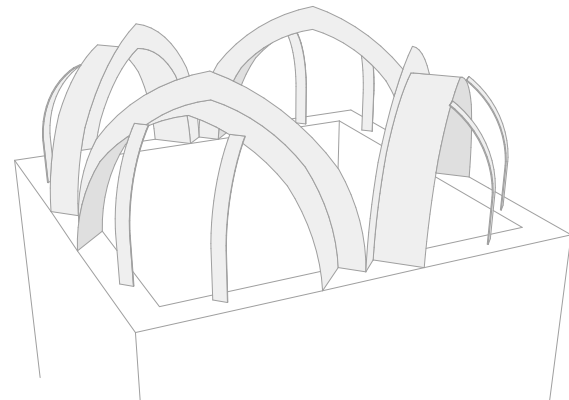
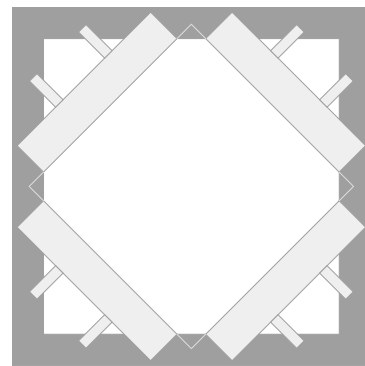


Abbildung 104: Rekonstruktion der geometrischen Anordnung der Tase in der nordseitigen Überwölbung der Freitagsmoschee von Nain

Weiterentwickelte Form der Patkanehtrompe

I. Zwölf-Imame-Mausoleum

Das gut erhaltene, aus dem 11. Jahrhundert (1037) stammende seldschukische Mausoleum in Yazd ist ein Beispiel für die ersten weiterentwickelten Patkanehkonstruktionen [MEM-2-2012: S.445].

Es besteht aus einem zentralen, von einer Kuppel überdeckten, quadratischen Raum. Ursprünglich hatte das Mausoleum an drei Seiten mittig angeordnete offene Arkaden als Übergang zwischen Innen- und Außenbereich. Zwei davon wurden später zugemauert und als Nischen umfunktioniert. Die verbliebene Arkade wird als Eingang benutzt. Die mit Stuck verzierte Mihrabnische liegt gegenüber dem Eingangsbereich.

Über dem quadratischen Unterbau liegt eine achteckige Sockelzone. Das Achteck entsteht durch den Wechsel

von vier in den Raumecken angebrachten Patkanehtrompen mit vier jeweils von einem Fenster durchbrochenen Blendbögen. Die Konstruktion der Patkanehtrompen erfolgt durch das Einsetzen eines Taghbandibogens in den Raumecken. In dem vom Bogen umfassten Raum werden 2 vertikal übereinanderliegende Patkanehreihen konstruiert. Die untere Reihe besteht aus zwei Tase, deren Spitzen sich in Richtung Raumecke, aber mit einem Abstand zueinander schließen. Auf diese Weise entsteht zwischen den Tase ein rechteckiger Rahmen mit einer in der Mitte liegenden kleineren Rundnische. Ausgehend von den 2 Tasespitzen wird in der zweiten Reihe ein Bogen gezogen. Um den hinter diesem Bogen liegenden Freiraum zu füllen, wurde eine tiefere Nischenwölbung (Rundnische) eingesetzt.

Über diesem so entstandenen Achteck sitzt ein breiter, bemalter und ebenfalls achteckiger Bereich, der mit Kufi-Inschriften verziert ist. Die optimale Überleitung in den Kuppelfußkreis wird über ein darüberliegendes, schmales sechzehneckiges Band erreicht.

Abbildung 105: Das Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd



Abbildung 106: Eckausbildung im Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd



Ab der Seldschukenzeit wurde die Übereinanderstapelung der Tase nach genauen geometrischen Berechnungen durchgeführt. Die Geometrie basiert auf der Zerteilung eines rechtwinkligen gleichschenkeligen Dreiecks, das dem Grundriss des Patkaneh in jeder Raumecke entspricht. Dieses Dreieck wird zunächst in zwei gleiche Dreiecke geteilt. Im nächsten Schritt wird der Mittelpunkt der Hypotenuse mit den Mittelpunkten der Schenkel verbunden. Daraus entstehen 4 Dreiecke und zwei Quadrate. Diese Quadrate könnten ebenfalls entlang ihrer Diagonale in Dreiecke geteilt werden. [STIE-2012: S.53].

Ab dem elften Jahrhundert wurde diese geometrische Anordnung als Leitmotiv in der Patkanehkonstruktion angewendet und über die Jahrhunderte weiterentwickelt.

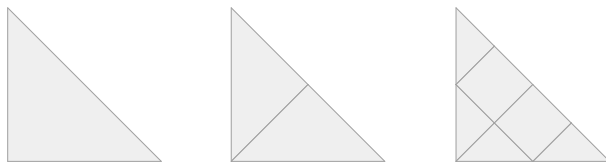


Abbildung 107: Geometrie der Zerteilung eines rechtwinkligen Dreiecks in eine Patkanehtrompe im Grundriss



Abbildung 109: Patkanehtrompe im Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd

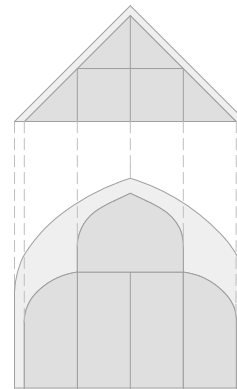
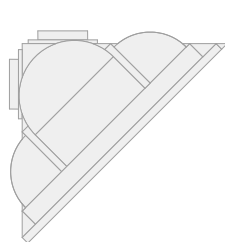
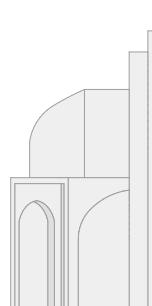


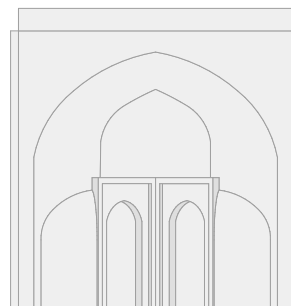
Abbildung 110: Räumliche Übertagung der geometrischen Anordnung in einer Patkanehtrompe von Grundriss durch 2 Reihen



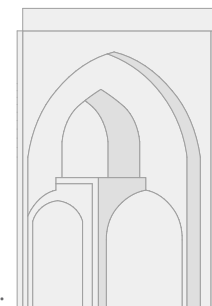
a.



b.



c.



d.

Abbildung 108: Patkanehtrompe im Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd: a. Grundriss; b. Schnitt; c. Vorderansicht; d. Seitenansicht

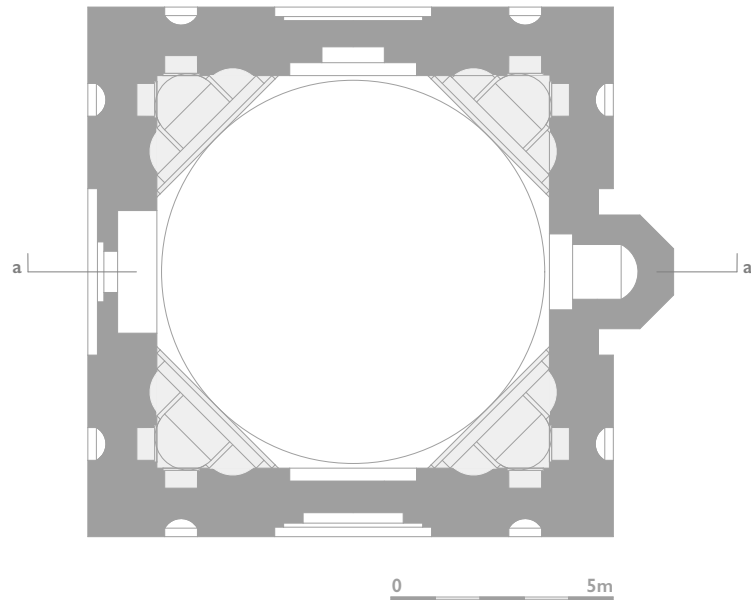


Abbildung 111: Grundriss des Zwölf-Imame-Mausoleums in Yazd



Abbildung 112: Schnitt durch das Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd



Abbildung 113: Patkanehtrompe im Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd



Abbildung 114: Patkanehtrompe im Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd, Schrägansicht

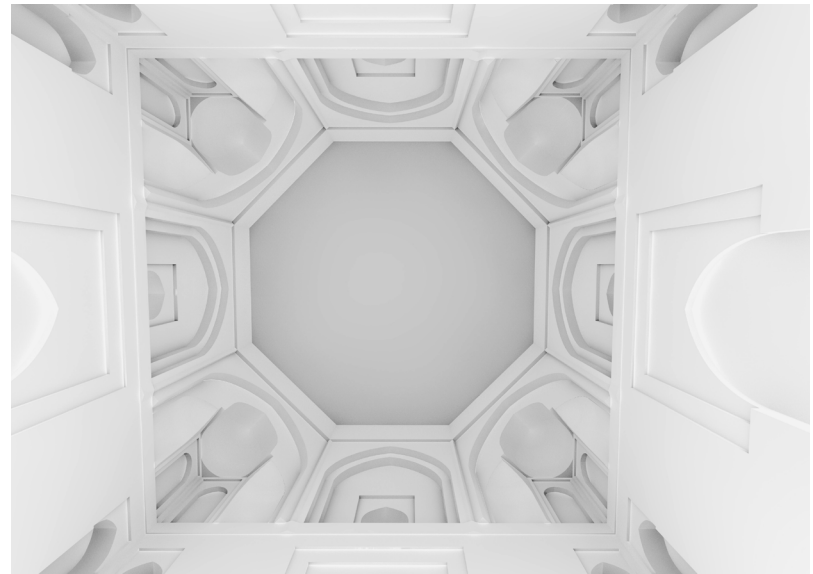


Abbildung 115: Blick in die Kuppel des Zwölf-Imame-Mausoleum in Yazd

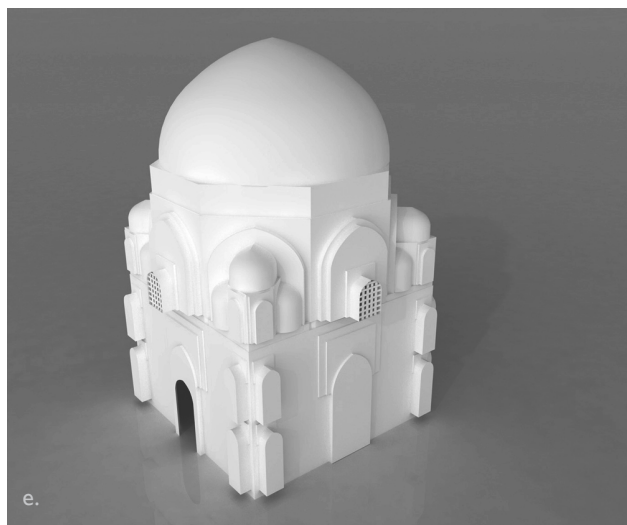
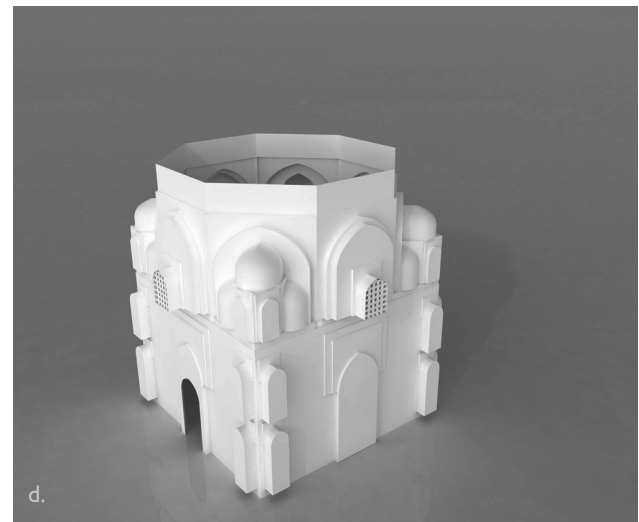
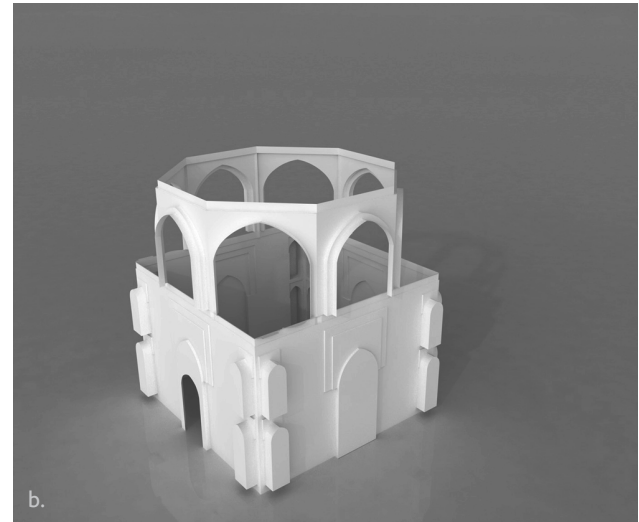
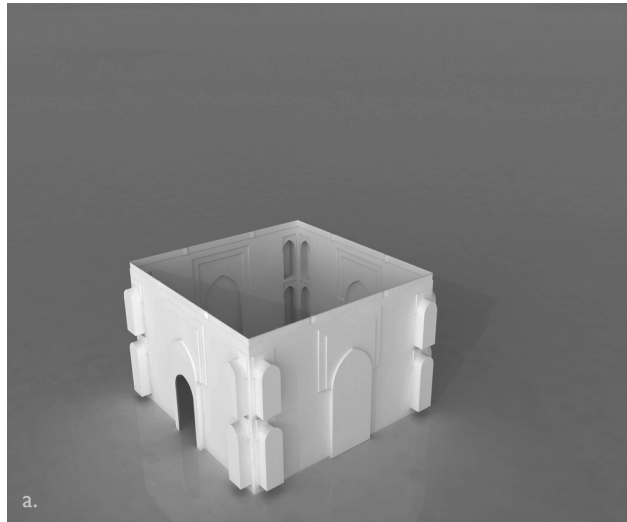


Abbildung I 16: 3D-Darstellung der Außenansicht der Eckausbildung vom Zwölf-Imame-Mausoleum
a. Unterbau
b. Aufbau des Taghbandis
c. Einbringung des Patkanehtrompe
d. Einbringung der 16-eckigen Zone
e. Einsetzen der Kuppel

2. Die Freitagsmoschee in Isfahan

Die Freitagsmoschee von Isfahan ist ein Beispiel, anhand dessen die 1200-jährige Entwicklung der iranischen Architektur beobachtet werden kann. Die heutige Anlage der Moschee ist das Ergebnis von vielen Erweiterungen, Umbauten und auch Restaurierungsarbeiten über mehrere Epochen.

Die ursprüngliche Moschee aus dem 9. Jahrhundert wurde in der Abbasiden-Ära auf älteren Bauten aus der vorislamischen Zeit erbaut. Sie bestand aus einer rechteckigen Säulenhalle und einem großen, von Arkaden gesäumten Hof. Die Hoffassade erfuhr im 10. Jahrhundert durch die Buyiden eine Neugestaltung und ihre Pfeiler wurden mit dekorativen kleinen Backsteinen verblendet.

Im 11. Jahrhundert veränderten die Seldschuken den Charakter der Moschee. Zuerst wurde durch deren berühmten Wesir Nizam-al-Mulk um 1086 ein freistehender Kuppelraum, der nach ihm selbst benannt wurde, im Süden der Moschee vor dem Mihrab gebaut. Um Platz

für diese neue Kuppel zu schaffen, wurden die 24 Pfeiler des älteren Baus, unmittelbar vor dem Mihrab, beseitigt [KORN-2012: S.76]. Der Kuppelsaal besitzt einen klassischen, quadratischen Grundriss, der durch Abwechslung von vier Patkanehtrompen mit dazwischenliegenden Blendbögen eine 8-eckige Übergangszone erhält. Darüber liegt eine 16-seitige Übergangszone, die zu einer halbkugelförmigen Kuppel mit einem Durchmesser von 15m überleitet.

Im Jahr 1088/89 ordnete Nizam-al-Mulks Rivale Tadj-al-Mulk die Errichtung eines kleineren Kuppelsaals auf der Nordseite der Moschee, in einer Achse mit dem gegenüberliegenden Mihrab, an. Dieser Raum, dessen Funktion noch unklar ist, lag außerhalb der damals bestehenden Moscheeanlage. Er wurde erst später eingegliedert. [KORN-2012: S.76]. Er ist mit einem Durchmesser von 9,5m kleiner als der südliche Kuppelsaal, wurde aber mit den gleichen Elementen gebaut: Ein quadratischer Grundriss, Überleitung zum 8-Eck mit Patkanehtrompen, und schließlich einer 16-eckigen Zone bis zum Kuppelfußkreis. Allerdings schafft das Tadj-al-Molk eine vergleichsweise elegantere Gliederung dieser Elementen.



Abbildung 117: Kuppel des Nizam-al-Mulk in der Freitagsmoschee von Isfahan



Abbildung 118: Kuppel des Tadj-al-Mulk in der Freitagsmoschee von Isfahan

te. Insbesondere die schmalen und hohen Pfeiler der Blindfelder bis hin zur darüberliegenden Patkanehtrompe steigen bereits vom Boden des Kuppelsaals auf. Auf diese Weise wird eine vertikale Schichtung gebildet, welche die Raumhöhe subjektiv größer erscheinen lässt und den Blick des Betrachters hinauf in die Kuppel gleiten lässt. Diese Kuppel zählt als ein Meisterwerk der mittelalterlichen iranischen Architektur.

Um hier die Patkanehtrompe zu konstruieren, werden die tragenden Bögen zuerst über die vier Ecken des quadratischen Unterbaus angeordnet. Hinter den so geschaffenen Bögen werden die Patkanehelemente in drei Reihen übereinander eingefügt. Die geometrische Anordnung dieser Elemente erfolgt wie in Abbildung 107 dargestellt, nach Zerteilung des rechtwinkligen Dreiecks. Hier werden die Quadrate ebenfalls entlang ihrer Diagonale in Dreiecke geteilt.

In der ersten Reihe sitzen vier rechteckige Rahmen mit einer in der Mitte liegenden kleineren Rundnische. Oberhalb der zwei seitlichen Rahmen werden zwei Tase eingesetzt, deren Spitze sich zu einem Spitzbogen mit Vertiefung in der dritten Reihe schließt. In der Mitte der Tase der zweiten Reihe liegen zwei über die Raumecken gestellte Tase mit ihrer rechteckigen Rahmung. Zwischen den Patkanehtrompen liegen noch Blendbögen mit dem gleichen Muster wie die Patkanehtrompe, welche in der Mitte durch Fenster durchbrochen sind. Durch die Abwechslung von vier Patkanehtrompen mit vier Blendbögen entsteht ein 8-Eck oberhalb des quadratischen Unterbaus. Über diesem so entstandenen 8-Eck sitzt noch eine Reihe mit sich wechselnden Folgen von 8 Blendbögen und 8 Bögen mit zwei

Tasen mit geringer Abschrägung. So wurde ein 16-Eck oberhalb des 8-Ecks konstruiert. In diese Reihe werden die Blendbögen in die Zwickel der darunterliegenden Trompe eingefügt, um ein netzartiges Gebilde zu schaffen. Darüber liegt noch eine 32-eckiges schmales Band als optimaler Übergang zum Fußkreis der Kuppel. Die Kuppel wurde einschalig nach der Khagi-Form gebaut.



Abbildung 120: Patkanehtrompe der Tadj-al-Mulk-Kuppel in der Freitagsmoschee von Isfahan

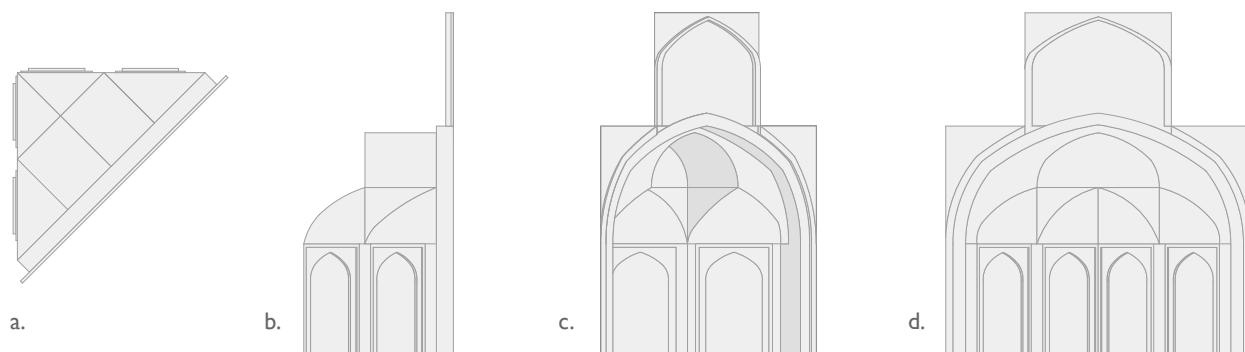


Abbildung 119: Patkanehtrompe in der Freitagsmoschee von Isfahan: a. Grundriss; b. Schnitt; c. Vorderansicht; d. Seitenansicht

Im frühen 12. Jahrhundert wurden die älteren Bauteile der Moschee nach einem Brand beschädigt, aber den beiden Kuppelsäle überstanden den Brand relativ unbeschadet. Nach dem Brand wurden wieder Veränderungen in der Moschee vorgenommen, indem die Lücken zwischen den beiden Kuppelbauten geschlossen wurden. Rund um den Hof mit einer Abmessung von 55m mal 65m wurden zweistöckige Arkaden mit Nischenloggien und unterschiedlich großen Säulenhallen errichtet. In der Mitte jeder Seite des Hofes sind Iwane entstanden. Der Süd-Iwan vor dem Nizam-al-Molk-Kuppelpavillon wurde verbreitert und ein Minarettpaar eingefügt, um die Gebetsrichtung zu betonen. Seine Breite entspricht fünf Jochen der ursprünglichen Säulenhallenmoschee, während die Seiten-Iwane nur vier Joche breit sind [HADE-2005: S.369]. Der Nord-Iwan schloss an einen langen und schmalen Eingangsbereich, welche zu Tadj-al-Molk Kuppelsaal führt. Die anderen zwei Iwane schlossen an eine breite und weniger tiefe Gewölbehalle.

Durch diese Umbauten erhielt die Moschee von einem Säulenhallenbau den Charakter einer Vier-Iwan-Anlage.

Mit dem Bau der Iwane veränderte sich die räumliche Struktur der Moschee, indem

- Die durchlaufenden Säulenhallen um den Hof nicht mehr wie früher homogen wirken, da sie durch die Iwane unterbrochen werden
- Die Zentrierung des Bauwerks auf den Hof durch die Iwane betont wurde
- Durch das Vier-Iwan-Konzept Innen- und Außenraum sich durchdringen.

Die einzelnen Joche der Moschee sind von etwa 200 unterschiedlichen Gewölbearten überdeckt, was von der meisterhaften Beherrschung der Kunst des Backsteinbaus durch die Baumeister in der Seldschuken-Ära zeugt [HADE-2005: S.369].

Abbildung 121: Hoffassade der Freitagsmoschee von Isfahan



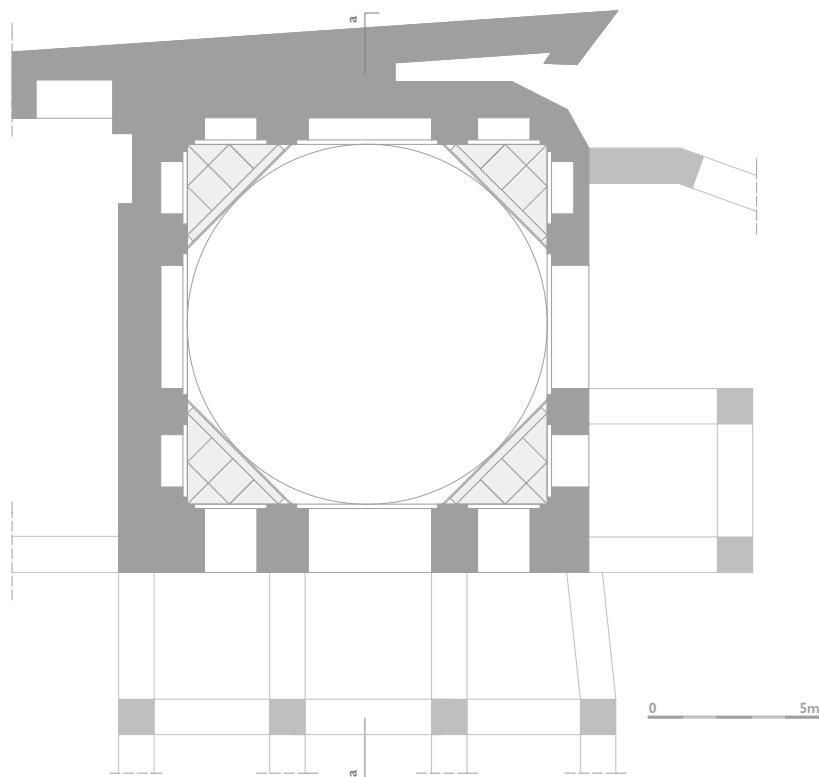


Abbildung 122: Grundriss der Tadj-al-Mulk-Kuppel in der Freitagsmoschee von Isfahan

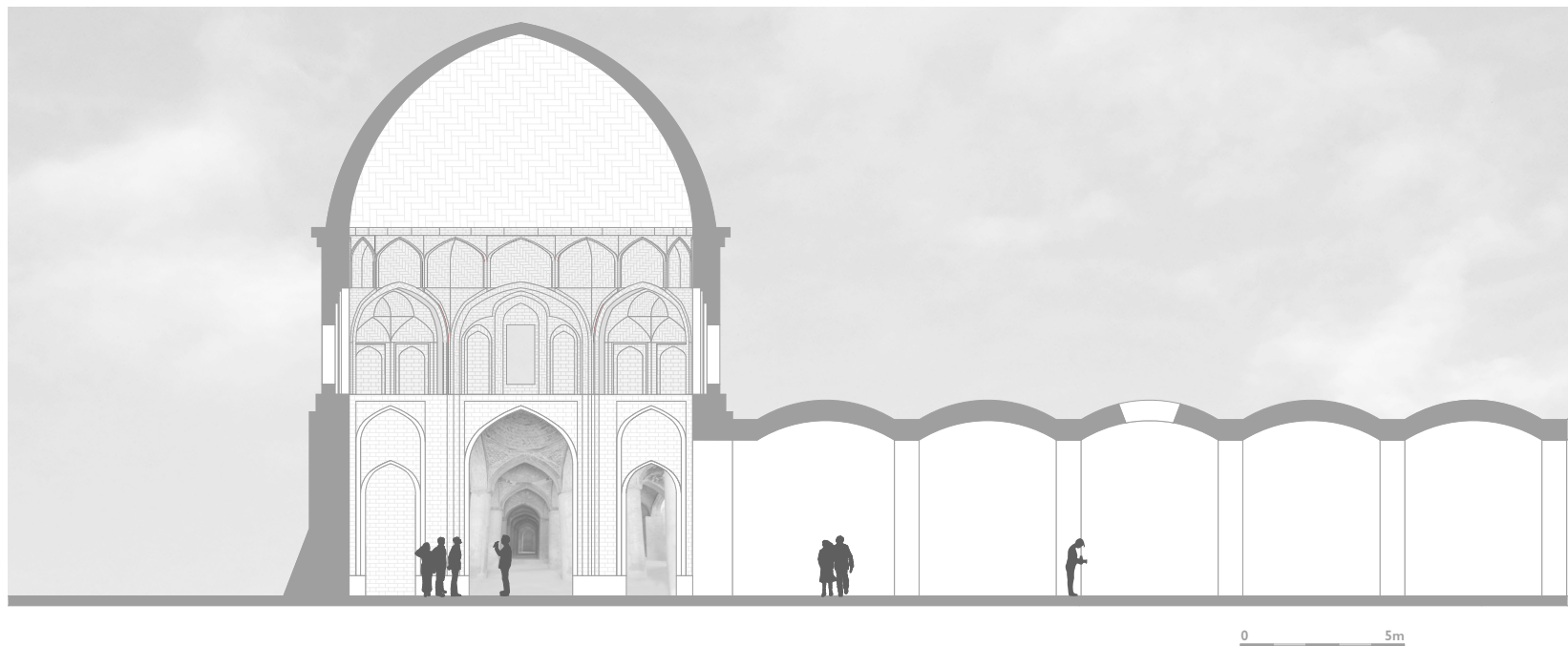


Abbildung 123: Schnitt durch die Tadj-al-Mulk-Kuppel in der Freitagsmoschee von Isfahan

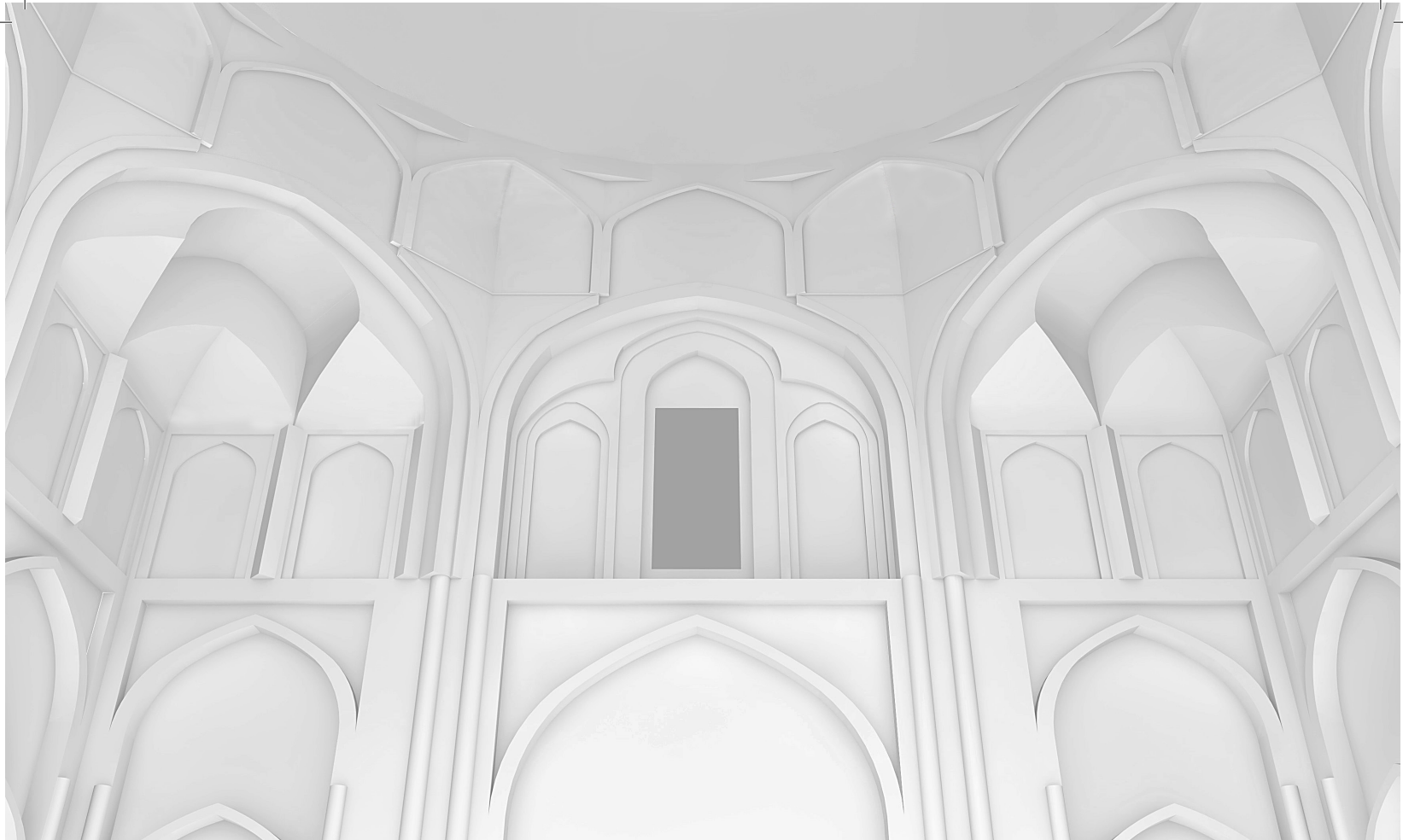


Abbildung 124: Patkanehtrompe in der Tadj-al-Mulk-Kuppel in der Freitagsmoschee von Isfahan



Abbildung 125: Patkanehtrompe in der Tadj-al-Mulk-Kuppel in der Freitagsmoschee von Isfahan, Schrägansicht

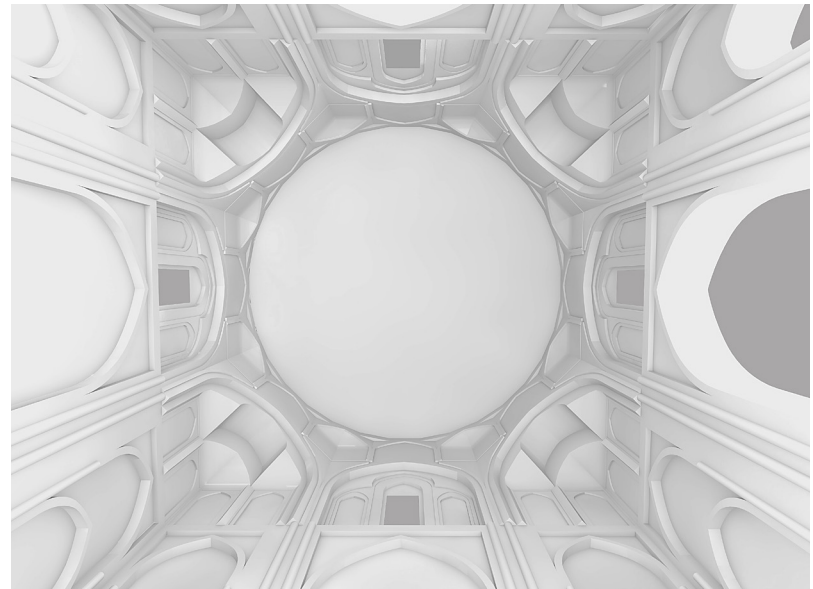
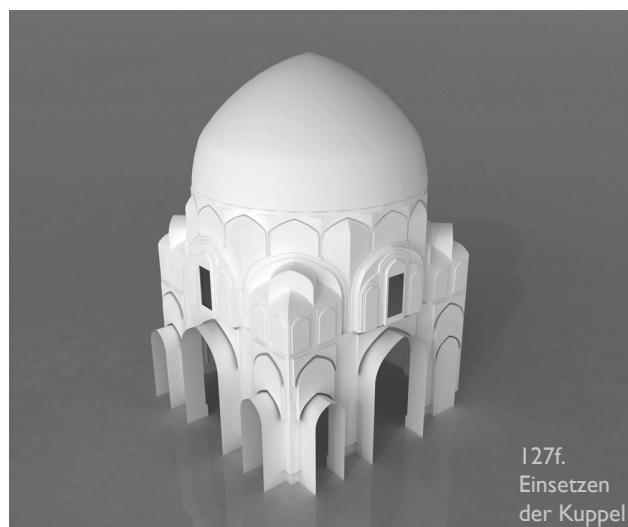
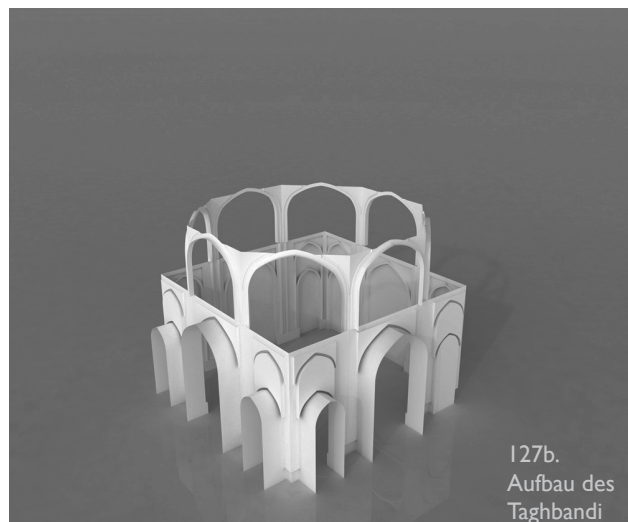


Abbildung 126: Blick in die Kuppel der Tadj-al-Mulk-Kuppel in der Freitagsmoschee von Isfahan



3. Freitagsmoschee von Golpayegan

Die Kleinstadt Golpayegan befindet sich in der Provinz Isfahan. Die dortige Freitagsmoschee zählt zu den wichtigsten Bauwerken der Seldschuken-Ära; ihr Bau wird auf die Zeit zwischen 1104 und 1117 n. Chr. datiert. Die Moschee besteht aus einem Innenhof und einem großen überkuppelten Gebetsraum, der sich durch einen reichen dekorativen Muster aus zugeschnittenen Backsteinen mit Kufi-Inschriften auszeichnet [HQAS-1999: S.105].

Der überkuppelte Raum besitzt eine quadratische Form. Die Überleitung zum Achteck wird durch vier, jeweils auf den oberen Ecken des Raums sich befindliche Taghbandi erreicht. Im Zwischenraum zweier jeweils benachbarte Taghbandi wurden Blendbögen eingefügt. Der Rücken der einzelnen Taghbandi wurden mit Patkanehtrompen gefüllt. Die Patkaneh-Elemente sind hier nach einem rein dekorativen Aspekt eingesetzt und setzen sich aus vier aufeinanderliegenden kleinen

Einzelteile zusammen. Wie bereits weiter oben, bei Abbildung 67, angeführt erfolgt die Zersplitterung des für Patkanehtrompen charakteristischen rechtwinkligen Dreiecks in kleinere Einzelteile mittels quadratischen oder rautenförmigen Grundmustern. Das rechtwinklige Dreieck wird zuerst in acht Teile zerlegt, die in einem zweiten Schritt in weiter unterteilt werden. Diese Zerlegung wird, wie in der Tabelle auf Seite 60 und 61 gezeigt, nach dem Grundmuster Quadrat Q1 und Q3 bzw. nach Grundmuster Raute R1 und R3 [MAFA-2013: S.51] durchgeführt.

Über dem so entstandenen Achteck sitzt noch eine Reihe mit sich wechselnden Folgen von 8 Blendbögen und 8 Bögen mit zwei Tassen mit geringer Abschrägung. Auf diese Weise wurde über dem Achteck ein 16-Eck konstruiert. In dieser Reihe werden die Blendbögen in die Zwickel der darunterliegenden Trompe eingefügt. Darüber liegt noch eine 32-eckiges schmales Band bis zum Fußkreis der Kuppel. Die Kuppel wurde einschalig nach Khagi-Schalenform gebaut.

Abbildung 128: Aussenansicht der Freitagsmoschee von Golpayegan

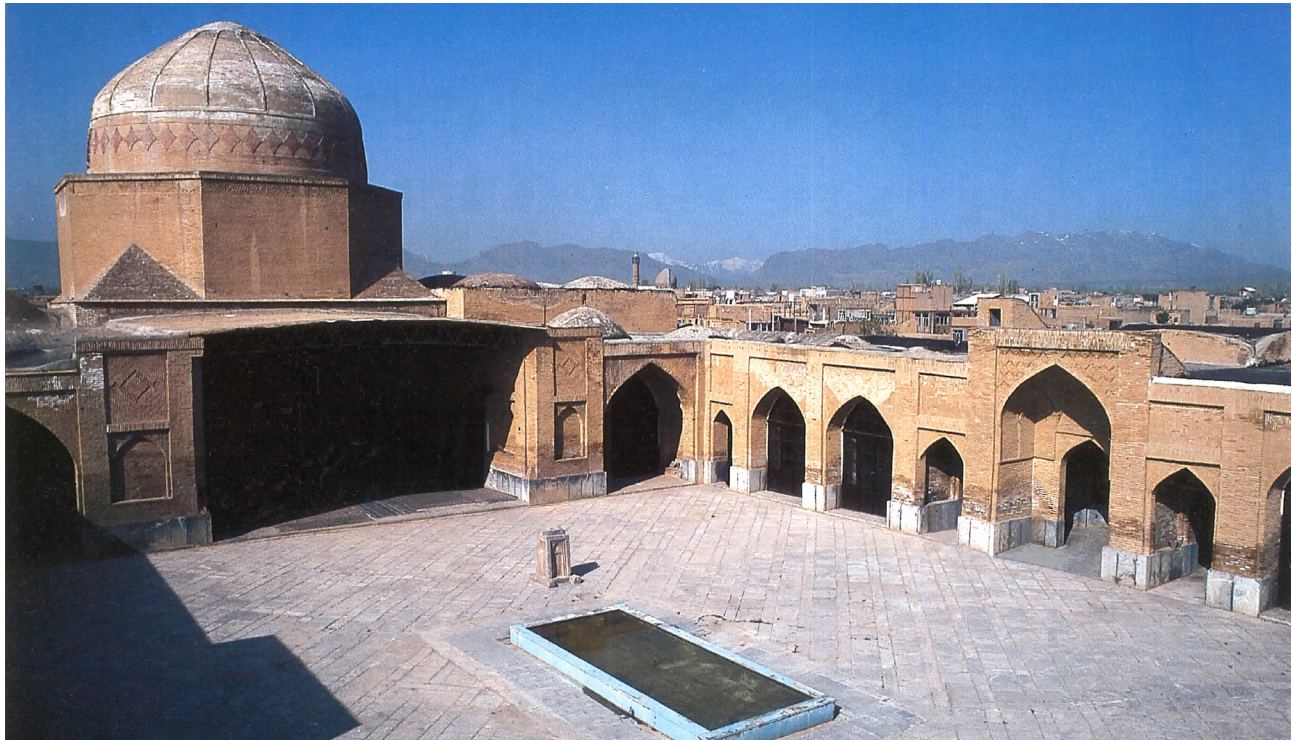




Abbildung 129: Innenraum der Freitagsmoschee von Golpayegan

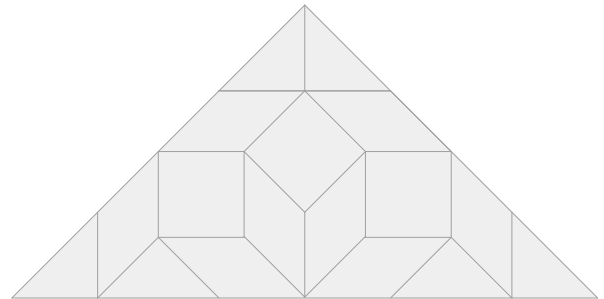
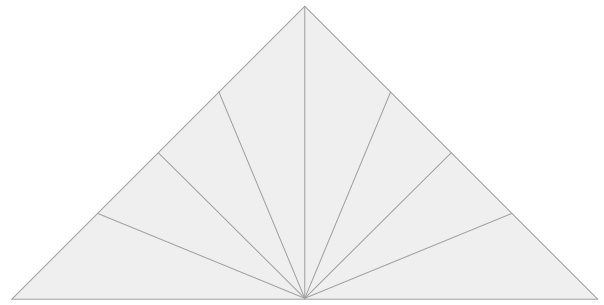


Abbildung 130: Eckausbildung in der Freitagsmoschee von Golpayegan

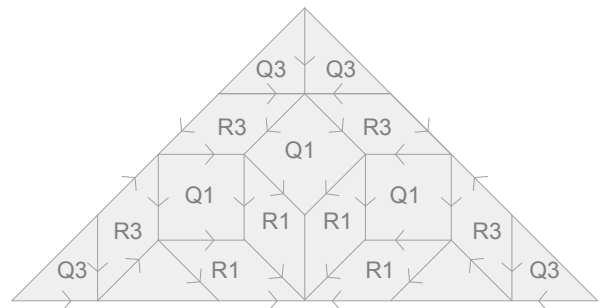


Abbildung 132: Geometrie der Zerteilung des rechtwinkligen Dreiecks in der Freitagsmoschee von Golpayegan

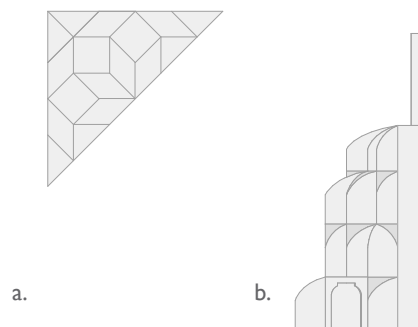
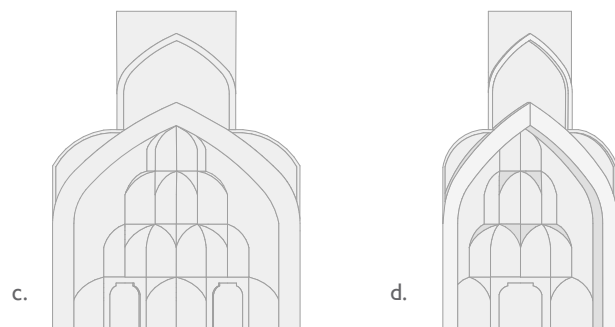


Abbildung 131: Patkanehtrompe in der Freitagsmoschee von Golpayegan: a. Grundriss; b. Schnitt; c. Vorderansicht; d. Seitenansicht



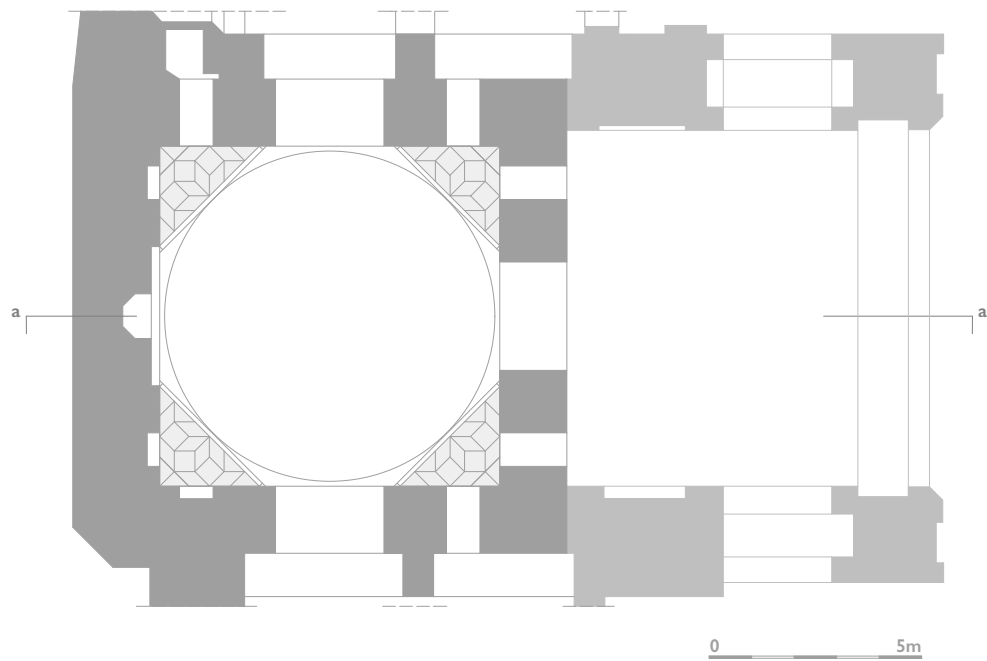


Abbildung 133: Grundriss der Freitagsmoschee von Golpayegan



Abbildung 134: Schnitt durch die Freitagsmoschee von Golpayegan



Abbildung 135: Patkanehtrompe in der Freitagsmoschee von Golpayegan



Abbildung 136: Patkanehtrompe in der Freitagsmoschee von Golpayegan, Schrägansicht

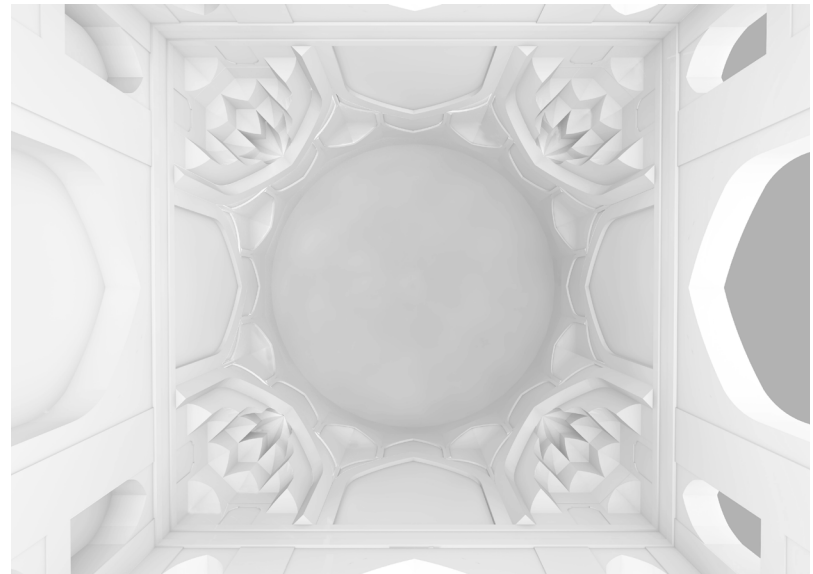


Abbildung 137: Blick in die Kuppel der Freitagsmoschee von Golpayegan

4. Freitagsmoschee von Varamin

Die Freitagsmoschee der Stadt Varamin, die 42 Kilometer südlich von Tehran liegt, wurde zwischen 1322 und 1326, in der Regierungszeit des letzten Herrschers der Ilkhaniden-Dynastie errichtet [MEM-3-2014: S.243].

Die Moschee stellte eine typische Vier-Iwan-Anlage dar, eine der im Iran am weitesten verbreiteten Moscheetypen. Dieser Moscheetyp hat sich schon zur Zeit der Seldschuken im Iran durchgesetzt. Es besteht aus einem großen Innenhof, auf den sich vier Iwane öffnen, und einem Kuppelsaal, der als Gebetsraum benutzt wird.

Diese Moschee war im Laufe der Zeit vielen Zerstörungen ausgesetzt. Von der ursprünglichen um eine Achse symmetrisch angelegten Moschee sind nur das Hauptportal und der auf der Achse liegende Süd-Iwan

mit dahinterliegendem Kuppelsaal, sowie Teile der eingeschossigen Arkaden um den Hof noch erhalten. In den letzten wurden weitere Teile der Moschee nach ursprünglicher Form rekonstruiert.

Der Kuppelsaal besitzt einen quadratischen Grundriss. Auch hier erfolgt die Überleitung zum Achteck durch die Abwechslung von vier Taghbandi an den oberen Raumecken mit in deren Zwischenraum eingefügten Blendbögen. Die Konstruktion der Patkanehtrumpfen erfolgt nach rein dekorativen Erfordernissen. Die Patkanehtrumpfen werden ausschließlich als Füllelement im Rücken der Taghbandi eingesetzt. Diese Moschee ist ein Beispiel dafür, wie ab dem 14. Jahrhundert der schon 4 Jahrhunderte zuvor angefangene Trend zur Trennung von konstruktiven und gestalterischen Elementen in der Eckausbildung konsequent umgesetzt wurde. Dies ermöglichte eine beliebige dekorative Bearbeitung und

Abbildung 138: Außenansicht der Freitagsmoschee von Varamin

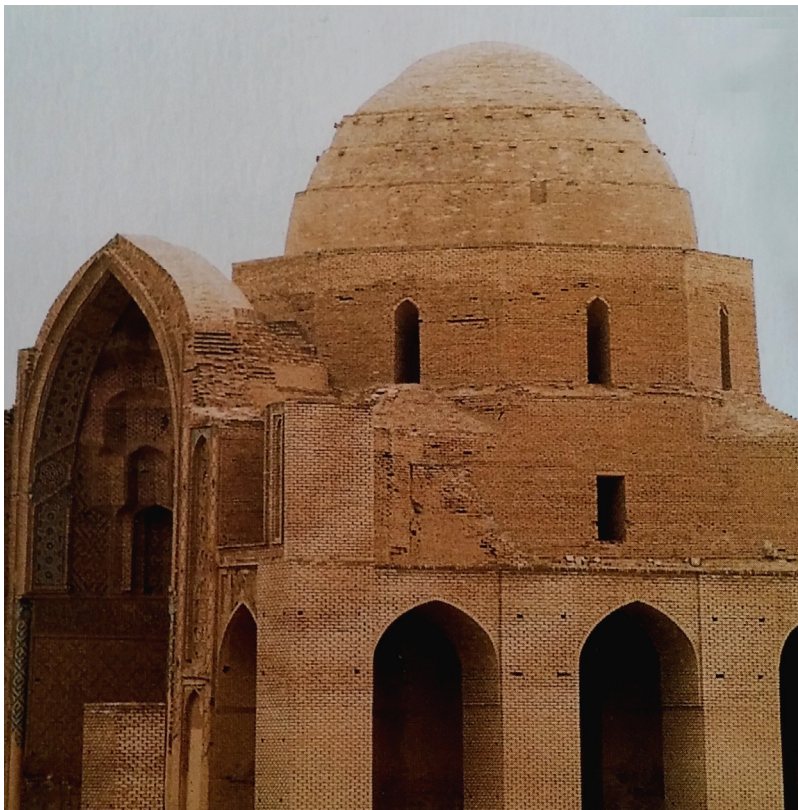
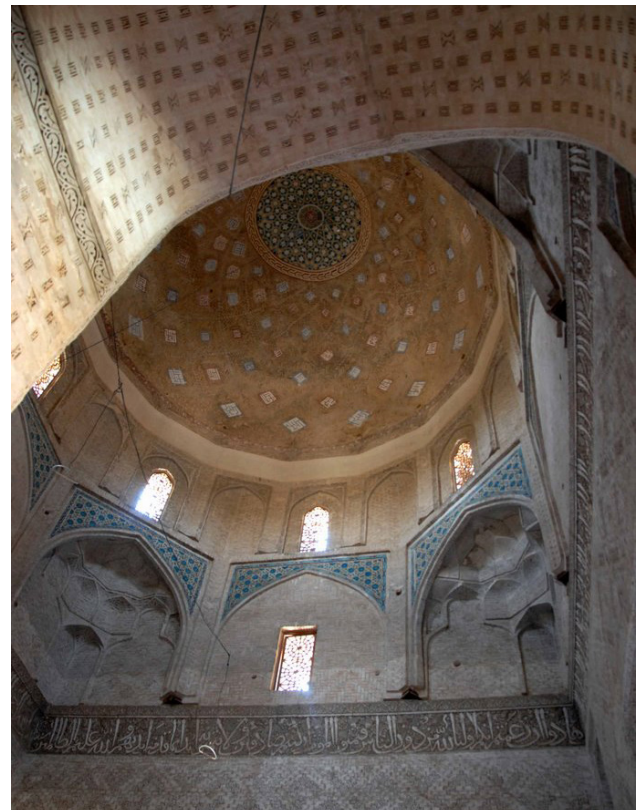


Abbildung 139: Innenansicht der Freitagsmoschee von Varamin



schaffte eine Vielfalt in der Gestaltung, die den Weg zur Verwendung von Muqarnas-Vorsprüngen hinter den Tragelementen ebnete.

Über diesem Achteck liegt ein 16-Eck, welches auch durch die Abwechslung von acht kleinere Taghbandi mit Blendbögen und weitere acht Taghbandi, die jeweils mit zwei Tassen geringer Abschrägung gefüllt sind. Darüber liegt noch ein 32-eckiges schmales Band bis zum Fußkreis der Kuppel.

Die Kuppel der Moschee wurde nach zweischaliger Form mit geringem Schalenabstand gebaut. Die äußere Schale wurde im Laufe der Zeit zerstört und es bleibt nur die innere Schale übrig. Diese besitzt einen Durchmesser von 11m und die Höhe des Scheitelpunktes bis zum Raumboden beträgt 24m.

Der Kuppelsaal, von den Unterbauwänden bis hin zur Kuppel, ist mit feinen Stuckreliefs und prächtigen Backsteinen dekoriert.

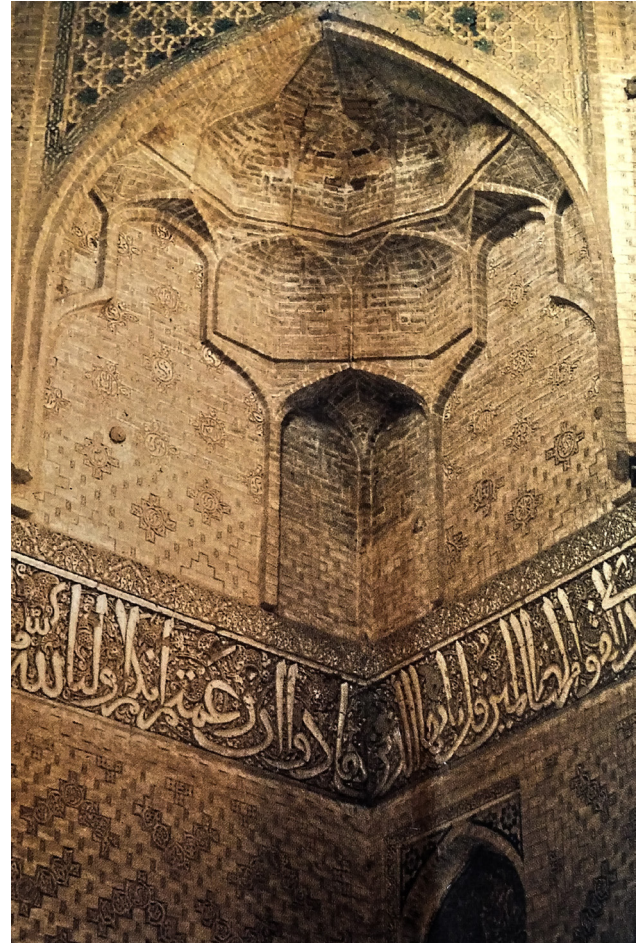


Abbildung 141: Eckausbildung in der Freitagsmoschee von Varamin

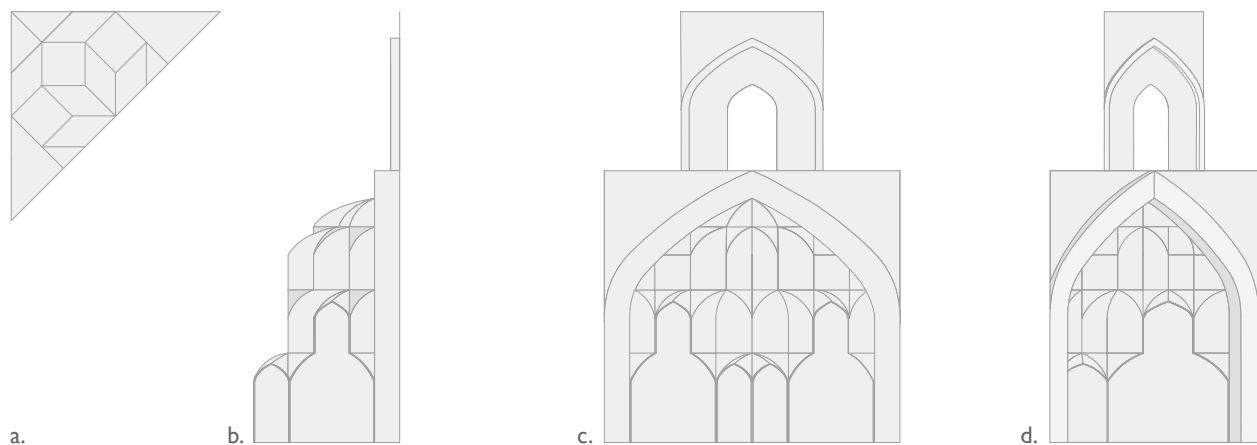


Abbildung 140: Patkanehtrompe in der Freitagsmoschee von Varamin: a. Grundriss; b. Schnitt; c. Vorderansicht; d. Seitenansicht

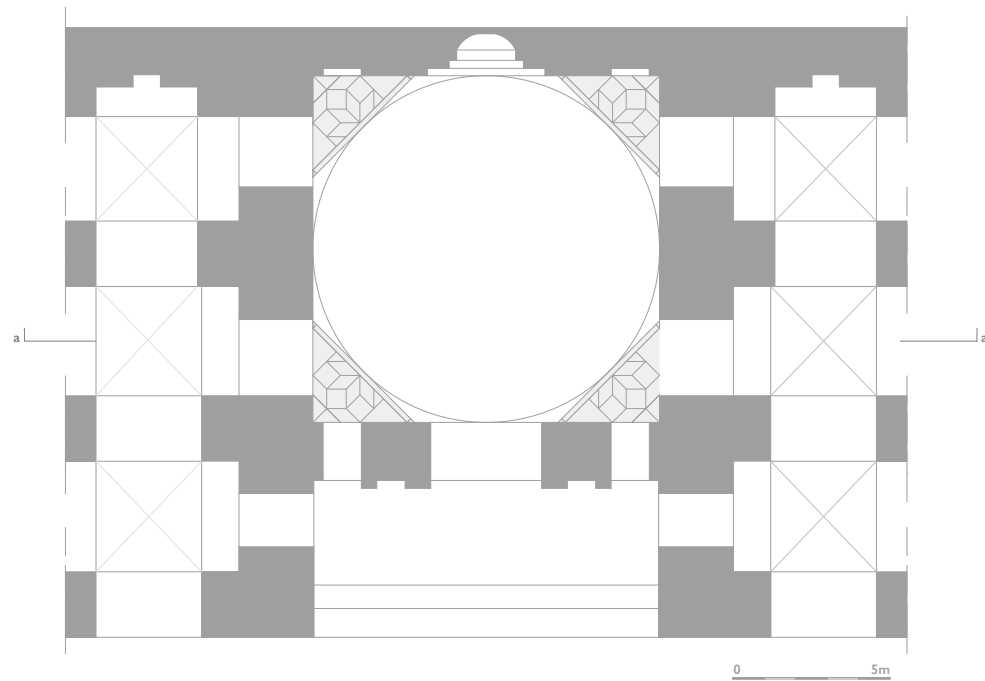


Abbildung 142: Grundriss
der Freitagsmoschee von
Varamin

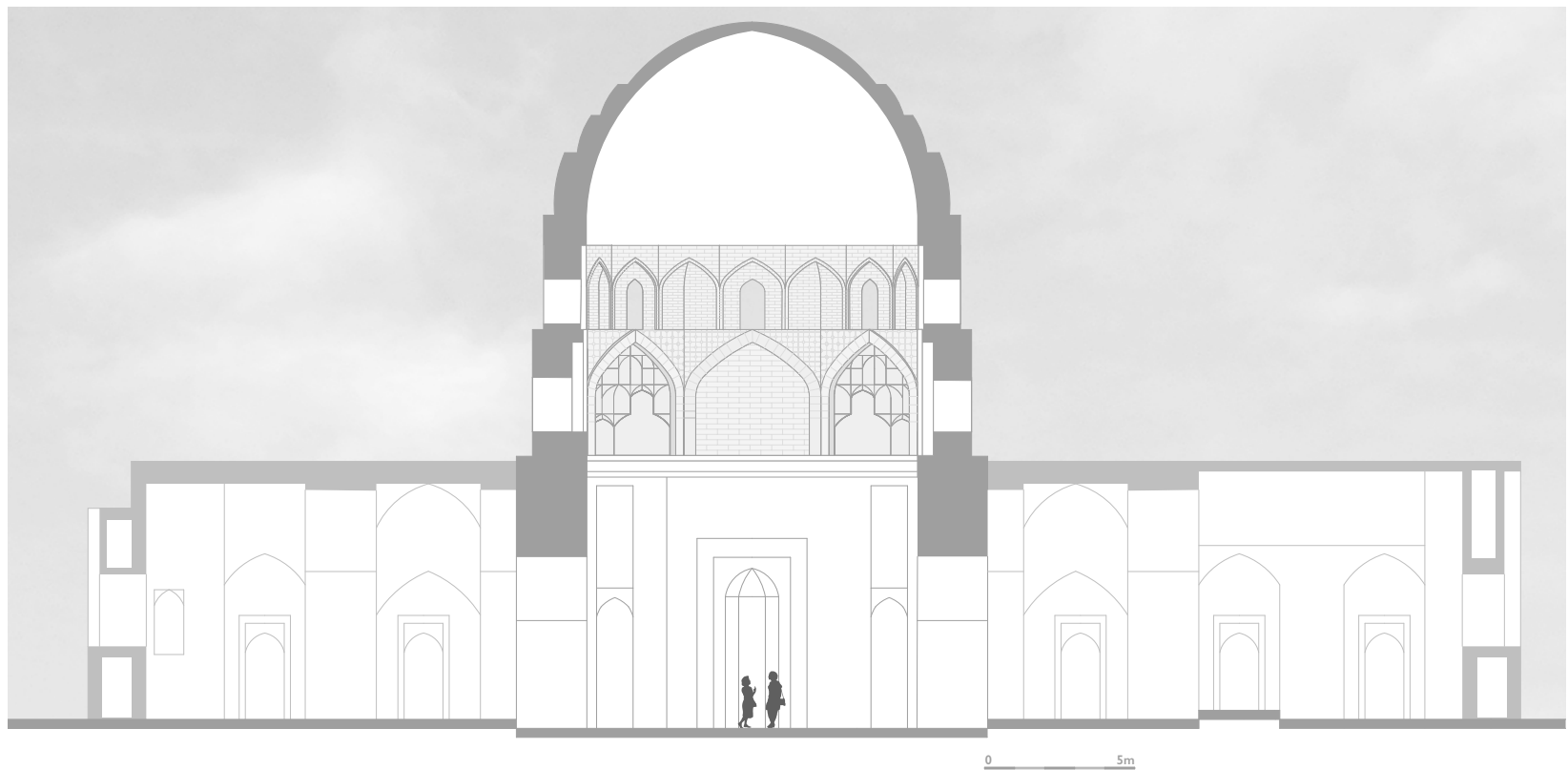


Abbildung 143: Schnitt durch die Freitagsmoschee von Varamin



Abbildung 144: Patkanehtrompe in der Freitagmoschee von Varamin



Abbildung 145: Patkanehtrompe in der Freitagmoschee von Varamin, Schrägansicht

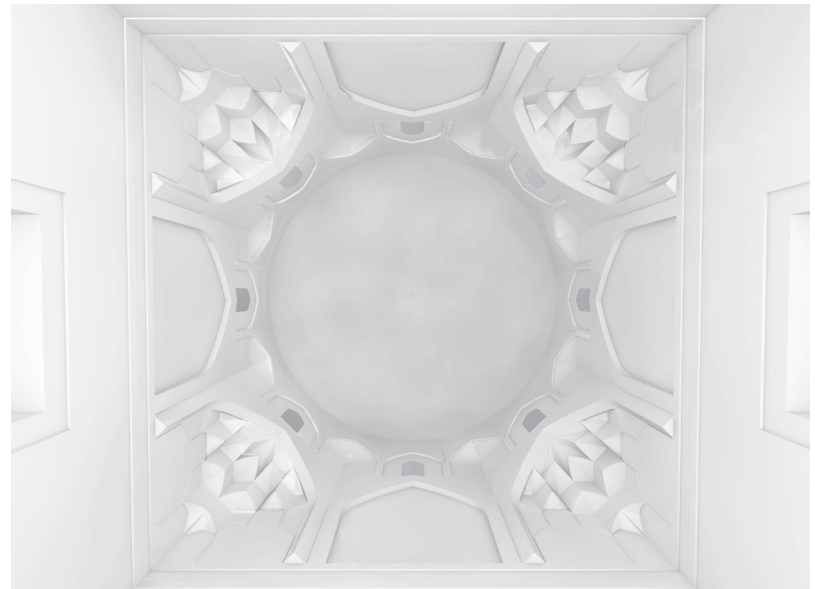


Abbildung 146: Blick in die Kuppel der Freitagmoschee von Varamin

Eskonj mit Taghbandi

Diese Art der Eckausbildung wurde zum ersten Mal im 11. Jahrhundert, zur Zeit der Seldschuken, eingesetzt und fand darauf eine weite Verbreitung. Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung des Eskonj, welches bereits im 5. Jahrhundert in von den Baumeistern der Sassaniden Ära entwickelt wurde. Die Eckausbildung besteht aus einem Eskonj (zwei einander schneidende abgeschrägte Eckgewölbe) und einen tragenden Bogen mit Umrahmung (Taghbandi).

Beispiele für Eskonj mit Taghbandi findet man in der aus dem 11. Jahrhundert stammenden Freitagsmoschee von Abhar und im Rokn-al-Din-Mausoleum aus dem 14. Jahrhundert. Beide Beispiele werden im Folgenden erläutert.

1. Freitagsmoschee von Abhar

Die zur Zeit der Seldschuken erbaute Freitagsmoschee liegt in der Provinz Zandschan und besteht aus einem Hof, einem Kuppelsaal und mit dem Kuppelsaal verbundene Nebenräume. Die Überleitung des quadratischen Unterbaus zu einem 8-Eck erfolgt durch den Bau von jeweils 4 tragenden Bögen auf die 4 oberen Raumecken. Der Raum hinter den Bögen wird mit je einem Eskonj gefüllt. Auf gleicher Ebene zwischen den vier tragenden Bögen befinden sich weitere vier Blindbögen, wodurch das 8-Eck entsteht. Darüber liegen 16 kleinere tragende Bögen jeweils mit Umrahmung (Taghbandi). Von diesen 16 sind 8 mit Blindbögen und weitere 8 mit leicht abgeschrägter Gewölbenischen gefüllt; sie sind abwechselnd angeordnet. Ein netzartiges Gebilde entsteht dadurch,

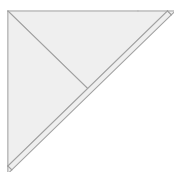
dass diese 16 Blindbögen in den 8 darunterliegenden eingefügt wurden. Darüber liegt ein schmales 32-eckige Band bis zum Fußkreis der einschaligen Kuppel.



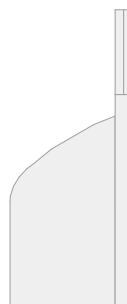
Abbildung 148: Aussenansicht der Freitagsmoschee von Abhar



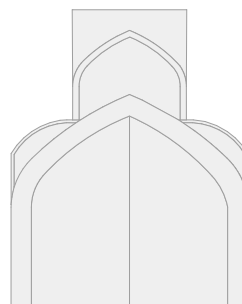
Abbildung 149: Eckausbildung der Freitagsmoschee von Abhar



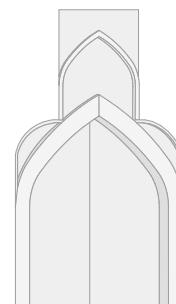
a.



b.



c.



d.

Abbildung 147: Eckausbildung in der Freitagsmoschee von Abhar: a. Grundriss; b. Schnitt; c. Vorderansicht; d. Seitenansicht

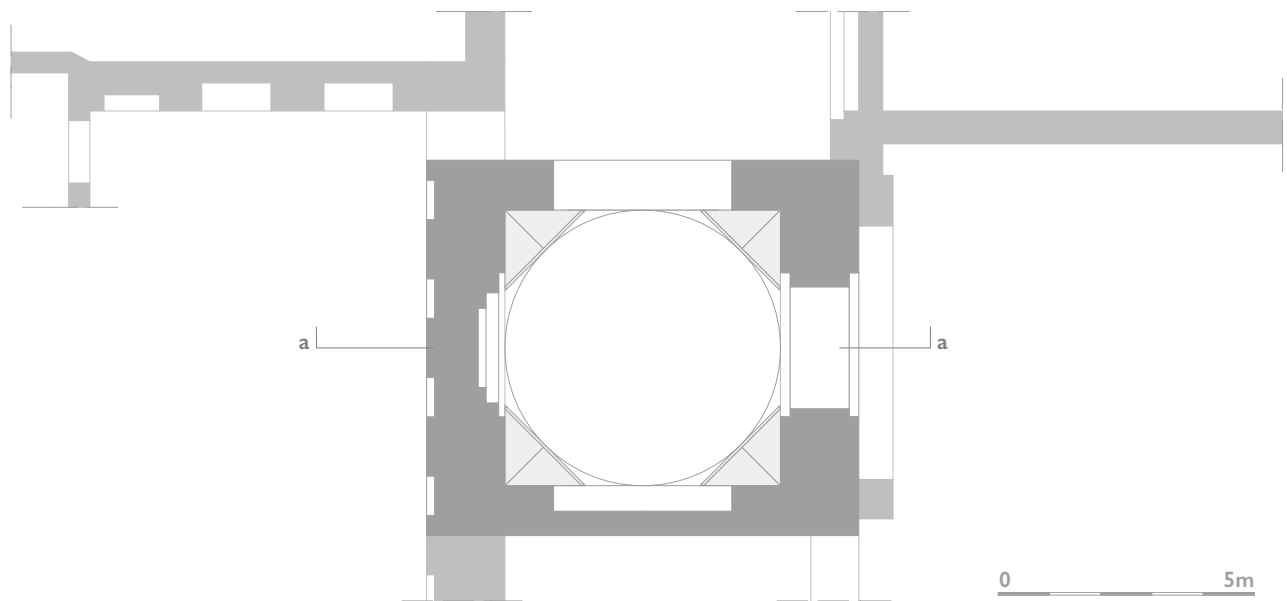


Abbildung 150: Grundriss der Freitagsmoschee von Abhar

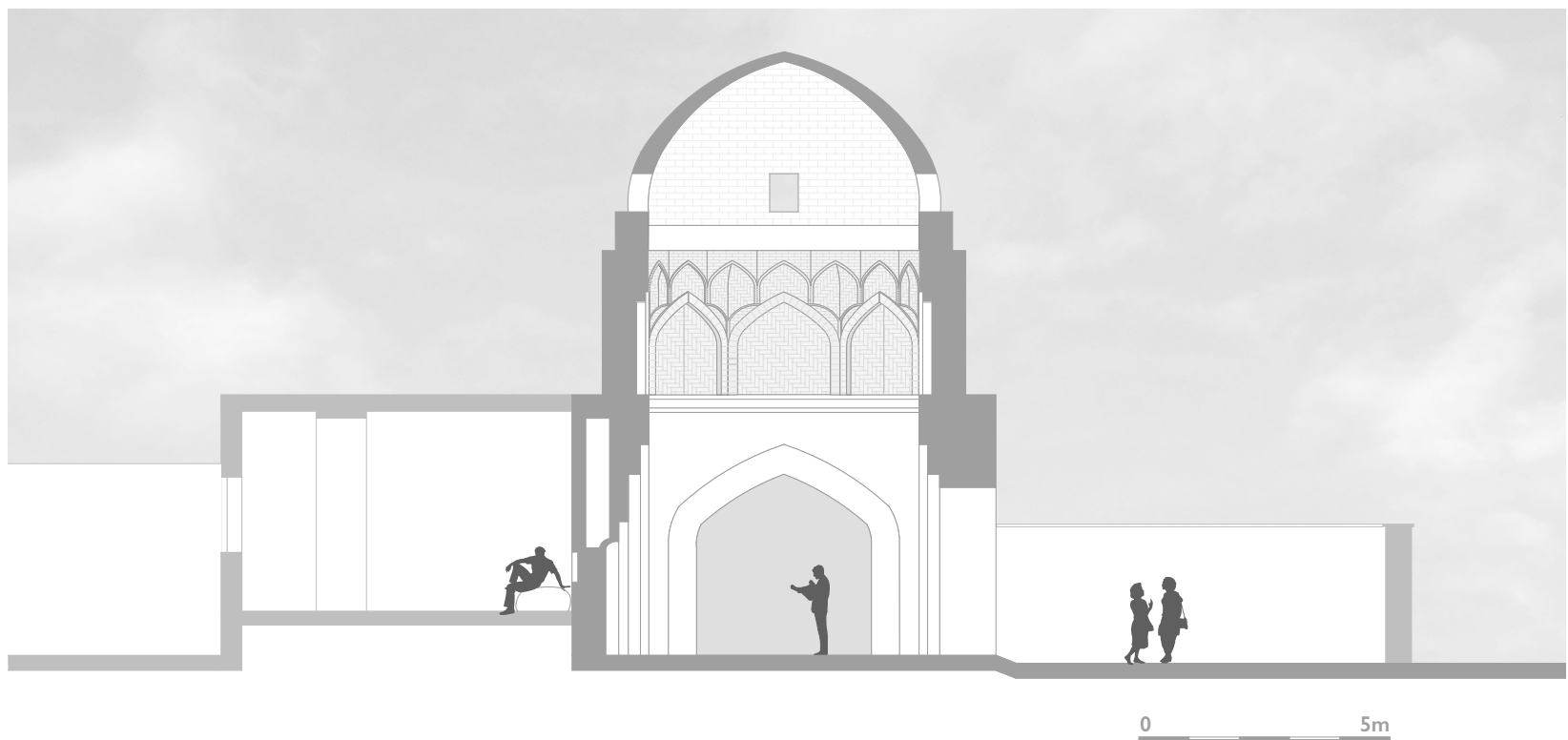


Abbildung 151: Schnitt durch die Freitagsmoschee von Abhar



Abbildung 152: Eskonj mit Taghbandi in der Freitagsmoschee von Abhar



Abbildung 153: Eskonj mit Taghbandi in der Freitagsmoschee von Abhar, Schrägansicht

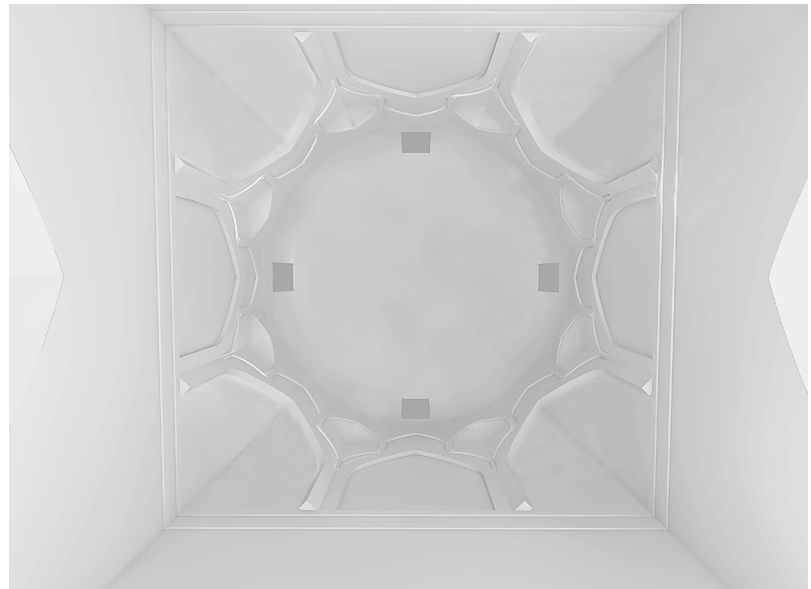
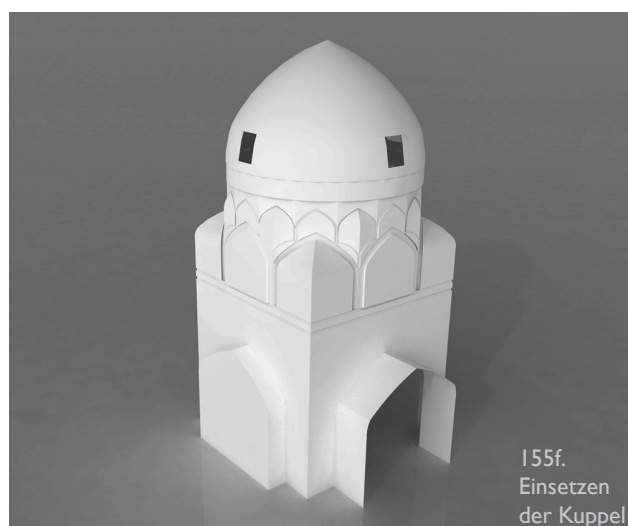
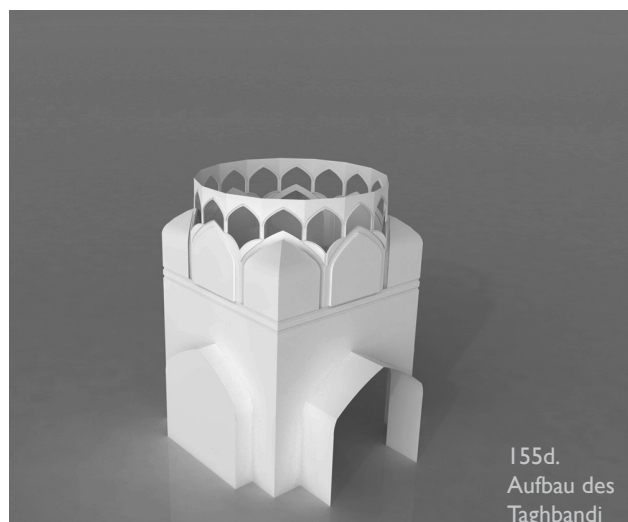
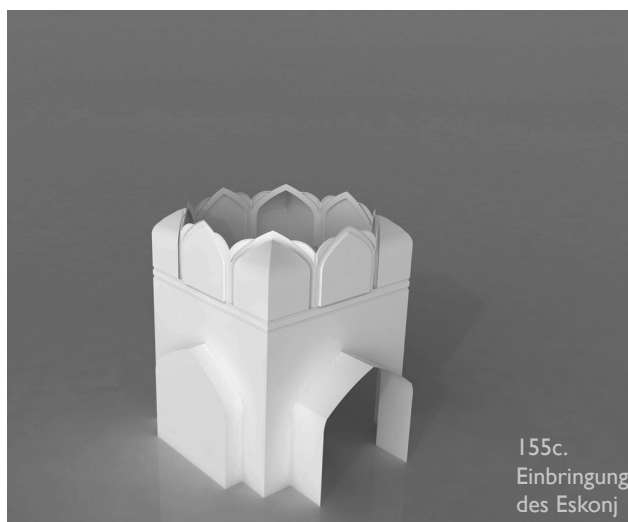
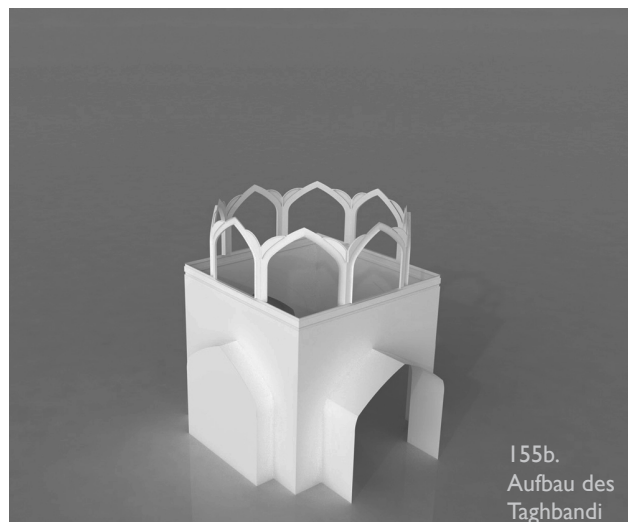
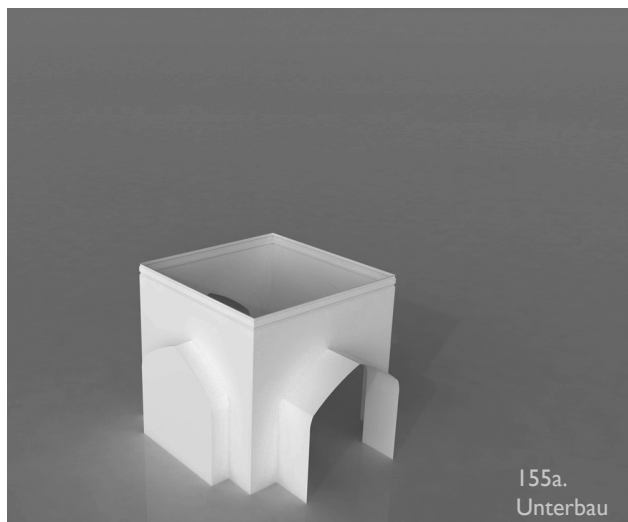


Abbildung 154: Blick in die Kuppel der Freitagsmoschee von Abhar



2. Mausoleum des Rokn-al-Din

Dieses Mausoleum wurde im Jahr 1324, zur Zeit der Ilkhaniden in der Stadt Yazd errichtet. Es ist das einzig noch erhaltene Teil eines Gebäudekomplexes, der ursprünglich noch eine religiöse Schule, eine Bibliothek und ein Observatorium umfasste [MEM-2-2012: S.465].

Der quadratische Unterbau des Rokn-al-Din-Mausoleums ist mit Gipsverzierungen geschmückt. Es folgt darüber eine 8-eckige Übergangszone, die ebenfalls durch 4 Eskonj mit Taghbandi in den 4 oberen Raumecken und 4 dazwischenliegende Blendbögen entsteht. Auf der nächsten Ebene befinden sich 8 kleinere Taghbandi mit Blendbögen, die auf der gleichen vertikalen Achse wie

die unteren angeordnet und mit diesen verbunden sind. Die Rahmen dieser 2 Taghbandi-Reihen fließen ineinander und ergeben einen zusammenhängenden Rahmen. Der Raum zwischen diesen kleineren Taghbandis wurde wiederum durch Taghbandis mit Eskonj gefüllt, wodurch sich eine 16-eckige Sockelzone ergibt. Diese Zone trägt noch eine 32-eckige schmale Band bis zum Kuppelfußkreis.

Die vertikale, sich auf einer Linie befindliche Schichtung der Blindfelder an den Wänden des Kuppelsaals mit den darüber liegenden Übergangselementen leitet die Augen des Besuchers in den Kuppelraum hinauf und bewirkt eine scheinbare Raumhöhe, die über die tatsächliche Höhe liegt.



Abbildung 156: Aussenansicht des Mausoleums des Rokn-al-Din in Yazd

Die Kuppel ist zweischalig mit geringer Schalenabstand. Die innere Schale wurde nach der Chilo-Schalenform gebaut und die äußere Schale nach Shabdari-Tond. Die beide Schalen sind am Anfang ihrer Wölbung bis $22,5^\circ$ miteinander verbunden. Danach trennen sie sich, bis ihr Abstand einen Maximalwert von einem Meter zwischen den beiden Scheitelpunkt erreicht.

Der Innenraum des Mausoleums ist mit blauen Gipsverzierungen nach geometrischen und floralen Motiven, sowie mit Inschriften geschmückt. Die Außenfassade der Kuppel ist mit blauen, ornamentalen Fliesenschmucke verkleidet, wodurch sich das Gebäude in auffälliger Art vom sonstigen, von braunen Lehm- bzw. Ziegelbauten geprägten Stadtbild abhebt. Auf der Außenfassade der Übergangselemente wurden heilige Namen bzw. heilige Sätze durch rechteckige glasiert Ziegel auf einer Fläche stumpfer ockerfarbener Backsteine zusammengesetzt.



Abbildung 159: Iwan des Mausoleums des Rukn-al-Din in Yazd

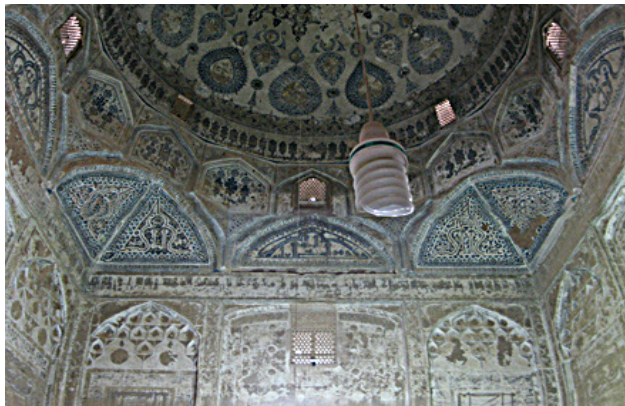


Abbildung 157: Innenraum des Mausoleums des Rukn-al-Din in Yazd

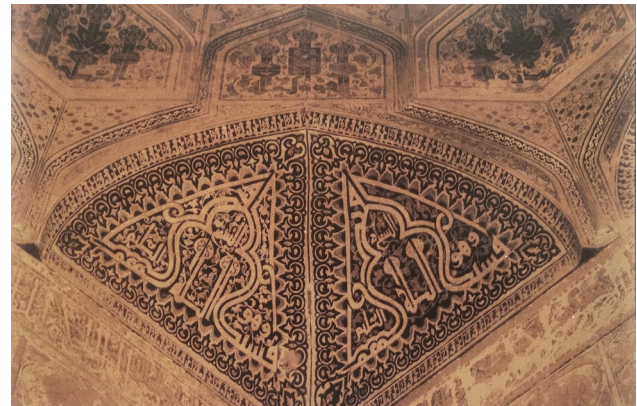


Abbildung 160: Eskonj im Mausoleum des Rukn-al-Din in Yazd

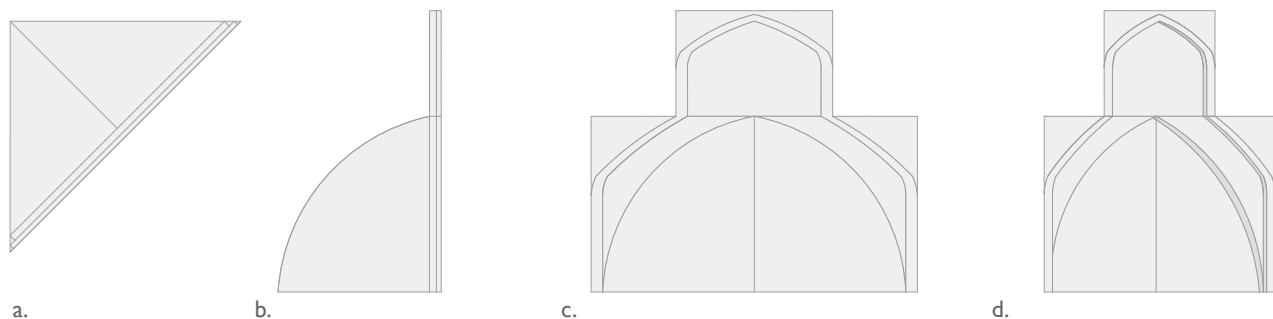


Abbildung 158: Eskonj im Mausoleum des Rukn-al-Din in Yazd: a. Grundriss; b. Schnitt; c. Vorderansicht; d. Seitenansicht



Abbildung 161: Grundriss des Mausoleums des Rokn-al-Din in Yazd

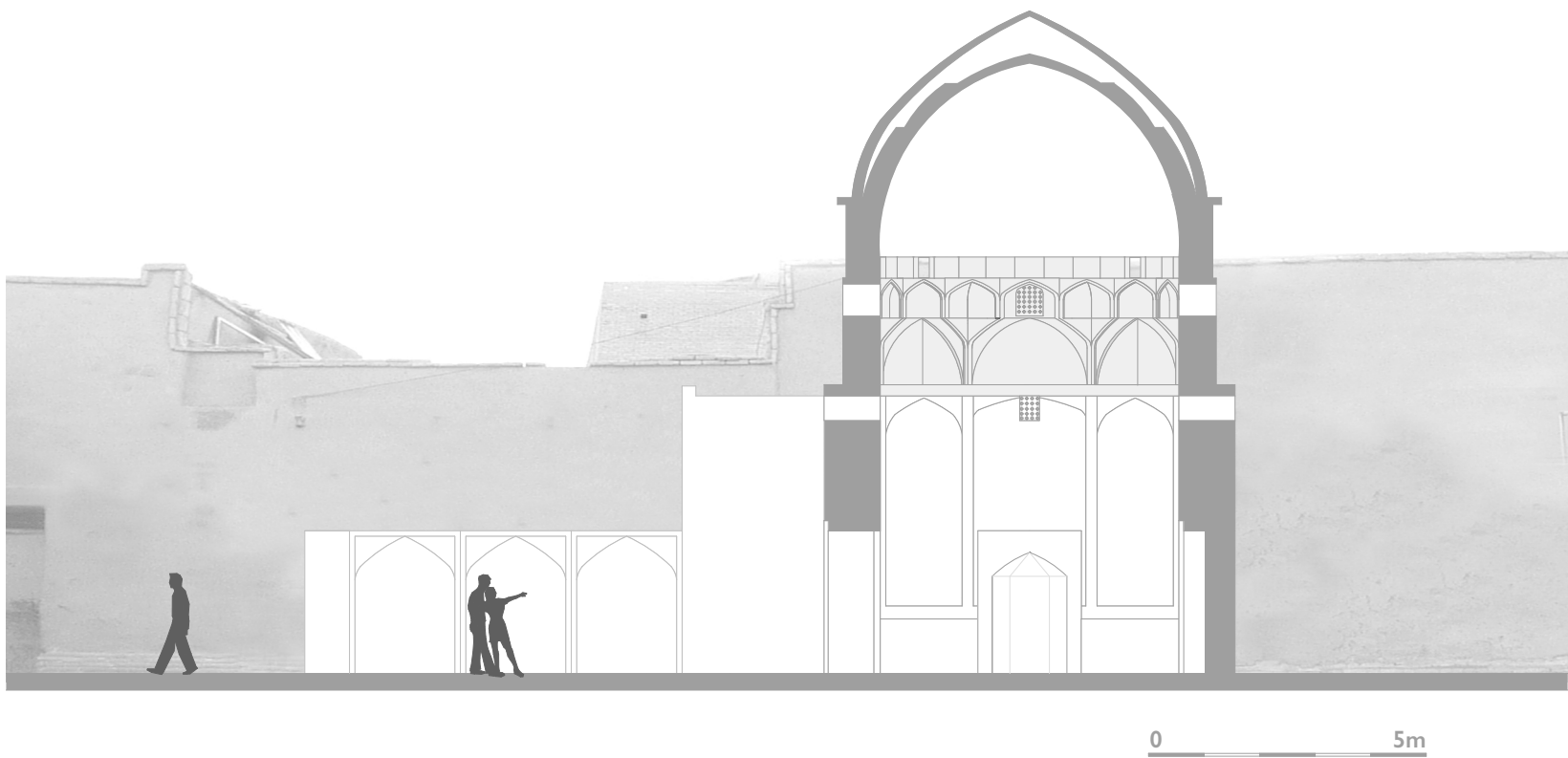


Abbildung 162: Schnitt durch das Mausoleum des Rokn-al-Din in Yazd



Abbildung 163: Eskonj im Mausoleum des Rokn-al-Din in Yazd



Abbildung 164: Eskonj im Mausoleum des Rokn-al-Din in Yazd, Schrägansicht

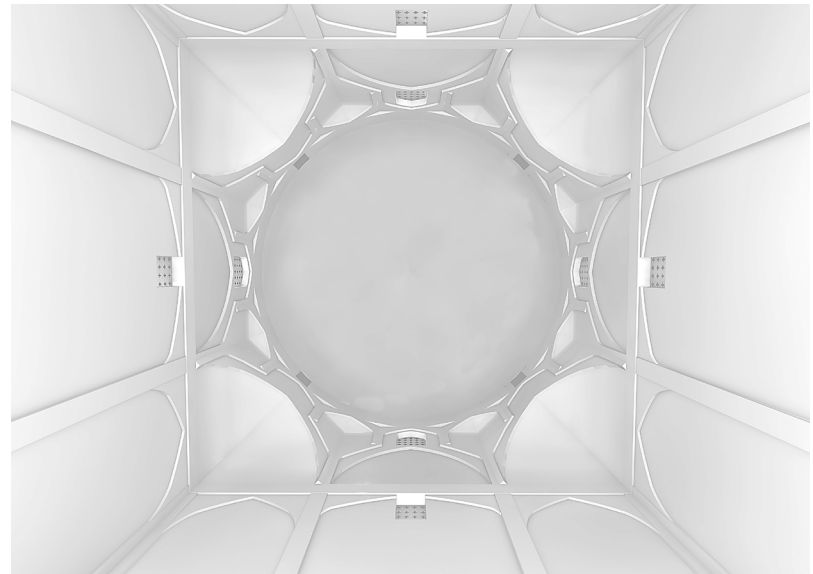


Abbildung 165: Blick in die Kuppel des Mausoleums des Rokn-al-Din in Yazd

Sonderform der Eckausbildung mit Taghbandi

Eine in der iranischen Architektur sehr seltene Art der Eckausbildung beinhaltet Taghbandis, die anstelle des Abschlusses mit Eskonj durch eine sphärische Wölbung abgeschlossen sind. Diese Wölbung gleicht im Schnitt einen Teilkreis mit einem Winkel von 120° .

Ein Beispiel für diese Sonderform ist das Arsalan-Jadhid-Mausoleum, welches zu den ältesten noch erhaltenen Gebäuden aus der Zeit der Ghaznawiden (11. Jahrhundert) zählt und ca. 40km südöstlich von Mashhad, die Hauptstadt der Provinz Razavi Khorasan liegt. An dieser Stelle befand sich zu dieser Zeit noch eine Stadt, von der heute nur mehr dieses Mausoleum und ein freistehendes 40m hohes Minarett existieren. Das Mausoleum besitzt einen klassisch quadratischen Grundriss. Die Überführung des Unterbaus in ein 8-Eck wird durch 8 gleich hohe Taghbandis erreicht, die jeweils an den 4 oberen Raumecken und auf der dazwischenliegenden Fläche platziert sind. Die Taghbandis an den Raumecken sind jene, die mit der zuvor erwähnten sphärischen Form abgeschlossen sind. Die innere Fläche der anderen 4 Taghbandis ist nach außen hin offen, wodurch der Innenraum beleuchtet ist. Über diese Taghbandi-Reihe befindet sich noch ein mit Kufi-Inschriften verziertes 16-eckiges Band, das zum Kuppelfußkreis führt. Die Kuppel selbst ist einschalig und nach Khagi-Form gebaut. Die Außenfassade des Mausoleums wurde ganz einfach und ohne Dekoration gehalten. Hingegen wurde die Innenseite mit hellfarbigen Backsteinen geschmückt. Die dekorativen Motive zeugen vom Einfluss der buddhistischen Kunst, die in den ersten Jahrhunderten nach Verbreitung des Islams im östlichen Iran noch vorhanden war.



Abbildung 167: Aussenansicht des Mausoleums von Arsalan Jadhid in Mashhad



Abbildung 168: Eckausbildung des Mausoleums von Arsalan Jadhid in Mashhad

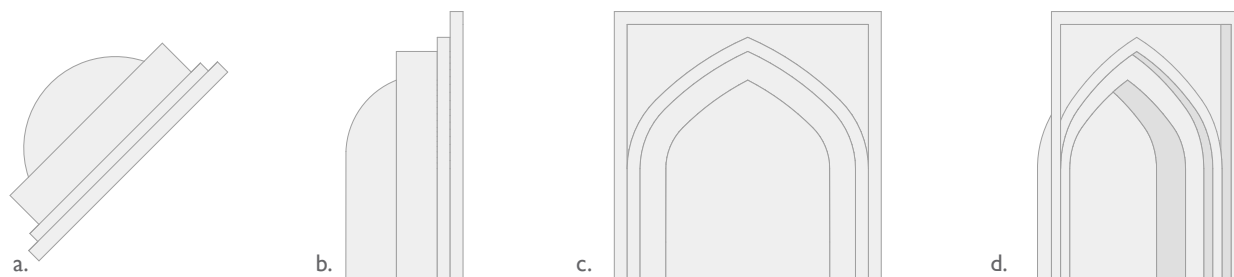


Abbildung 166: Eckausbildung im Mausoleum von Arsalan Jadhid in Mashhad: a. Grundriss; b. Schnitt; c. Vorderansicht; d. Seitenansicht

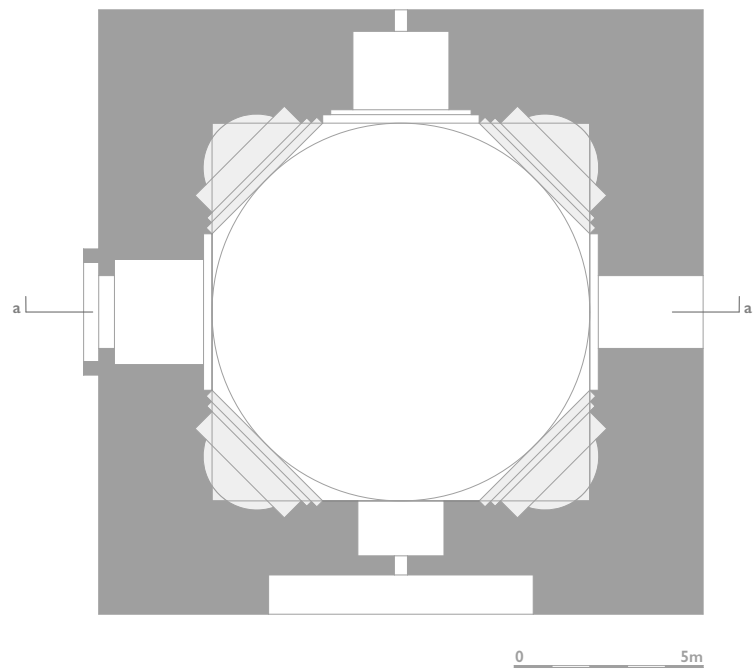


Abbildung 169: Grundriss des Mausoleums von Arsalan Jadhid in Mashhad



Abbildung 170: Schnitt durch das Mausoleum von Arsalan Jadhid in Mashhad



Abbildung 171: Eckausbildung im Mausoleum von Arsalan Jadhid in Mashhad



Abbildung 172: Eckausbildung im Mausoleum von Arsalan Jadhid in Mashhad, Schrägansicht

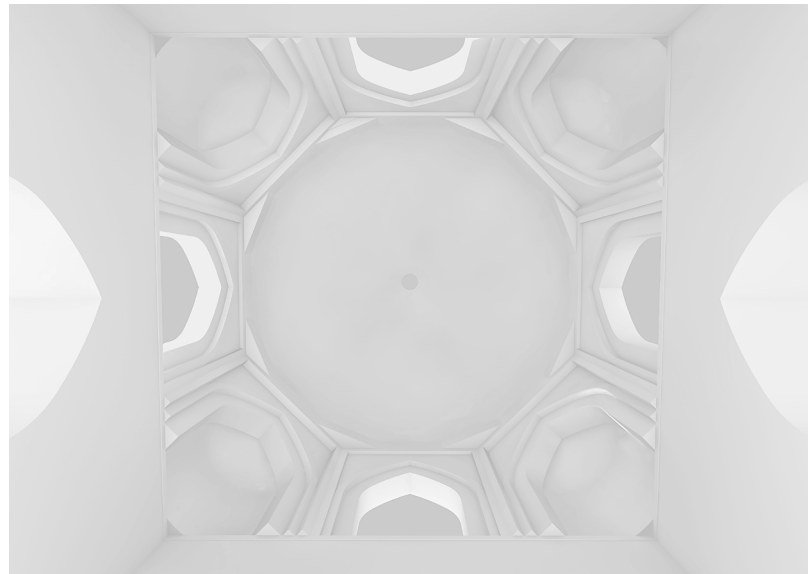


Abbildung 173: Blick in die Kuppel des Mausoleums von Arsalan Jadhid in Mashhad

Karbandi

Karbandi ist ein Gestaltungselement mit einer großen Anwendungsvielfalt in der iranischen Architektur. Dieser Abschnitt wird, nach einer kurzen Definition, auf die Anwendung als Eckausbildung im Detail eingehen.

Ein Karbandi ist die Struktur, die aus der Kombination einer Anzahl von Kreuzrippenbögen und die dazwischenliegenden Kappen entsteht. Die Kreuzrippen sind als tragende Elemente gebaut; die Kappen sind die gewölbten Flächen zwischen den Rippenbögen. Sie sind dreieck- oder rautenförmig und sind nur Füllelemente.

Das Karbandi kommt in der iranischen Architektur ab dem 9. Jahrhundert vor, und hat sich über die Jahrhunderte mit komplexeren Formen weiterentwickelt. Das älteste noch erhaltene Karbandi wurde in der Freitagsmoschee von Shiraz aus dem Jahr 879 gefunden. Ab dem 10. Jahrhundert gewann es zunehmend an Beliebtheit.

Beispiele aus dieser Zeit findet man in Mihrab und Nordiwan der Freitagsmoschee von Nain, in den Freitagsmoscheen von Isfahan und Ardestan und im Iwan der Freitagsmoschee von Zavareh.

In der Timuriden-Ära ab dem 13. Jahrhundert verbreitete sich eine weiterentwickelte Form des Karbandi. Bis zu dieser Zeit dienten Karbandis entweder als dekorative Elemente für den Mihrab bzw. den Iwan in einer Moschee, oder als Überwölbung über vier Pfeiler oder Säulen in Basare, Moscheen und Hammams. Ab dem 13. Jahrhundert erhalten Karbandi eine neue Aufgabe in der iranischen Architektur. Sie werden nun auch zur Überwölbung von Räumen mit großer Spannweite sowie als Übergangselement in überkuppelten Räumen eingesetzt [MAFA-2011: S. 98].

Karbandis können auf quadratischen, rechteckigen oder 8-eckigen Raumgrundrissen gebaut werden.



Abbildung 174: Karbandi in der Freitagsmoschee von Isfahan



Abbildung 175: Karbandi in der Freitagsmoschee von Zavareh

Karbandi als Überwölbung

Die Anordnung der Rippenbögen erfolgt nach strengen geometrischen Regeln. Diese Geometrie wird zuerst im zweidimensionalen Grundriss dargestellt und berechnet und danach in den dreidimensionalen Raum gezogen. Es handelt sich um Regeln, die das Verhältnis der Raumdimension zur Anzahl der Ecken des Karbandi und der Anordnung von Rippenbögen festlegt. Die Zahl der Ecken wird durch die Zahl der Rippenbögen bestimmt. Das bedeutet beispielsweise, dass 12 einander kreuzende Rippenbögen ein 12er Karbandi ergeben. Es wird immer nur eine gerade Zahl von Rippenbögen gewählt; Karbandis mit 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 22 und 24 Bögen sind sehr üblich. Ganz seltenen findet man auch 64er Karbandis [ZOM-2011, S.200]. Die geometrische Regel wird durch die folgende Formel ausgedrückt:

$$\left\{ \frac{n}{d} \right\} = \frac{\pi}{\tan^{-1} \left(\frac{B}{A} \right)}, \text{ wobei } n \geq 4 \text{ und } 1 \leq d < n/2$$

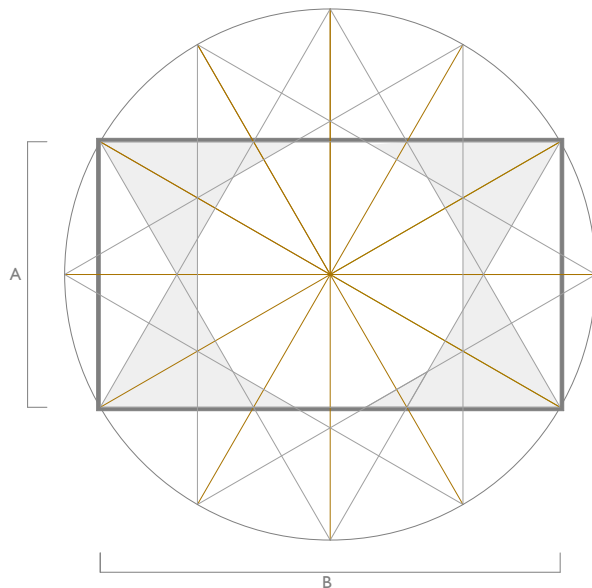


Abbildung 176: Darstellung eines 12er-Karbandi auf rechteckigem Raumgrundriss mit n/d Verhältnis von 12/4

In dieser Formel ist A die Breite und B die Länge des Raumes; n ist die Zahl der Ecken des Karbandi und d steht für den Abstand der zu verbindenden Ecken. Ein d mit dem Wert 4 bedeutet, dass jede vierte Kante miteinander durch einen Rippenbogen verbunden wird. Wenn sich demnach aufgrund des Verhältnisses zwischen Raumlänge und -breite ein n/d gleich 3 ergibt, dann wären folgende Karbandi Konfigurationen möglich: 6/2, 9/3, 12/4, 15/5, 18/6,....

Es sind allerdings, wie bereits oben erwähnt, nur gerade Zahlen von Ecken zulässig, wodurch 9/3 und 15/5 als Option ausscheiden. Möchte man nun für diesen Raum ein 12er Karbandi auf einem rechteckigen Grundriss mit Verhältnis 12/4 entwerfen, so muss man zuerst einen Kreis um den Raumgrundriss zeichnen. Dieser Kreis wird nun an 12 gleichmäßig verteilten Punkten markiert. Jeder Punkt stellt eine Karbandi-Ecke dar. Dann wird jedes vierte Punktepaaar miteinander verbunden. Diese Verbindungen werden danach im dreidimensionalen Raum weiter gebaut und bilden die Rippenbögen der 12er Karbandi [MAFA-2011: S.100].

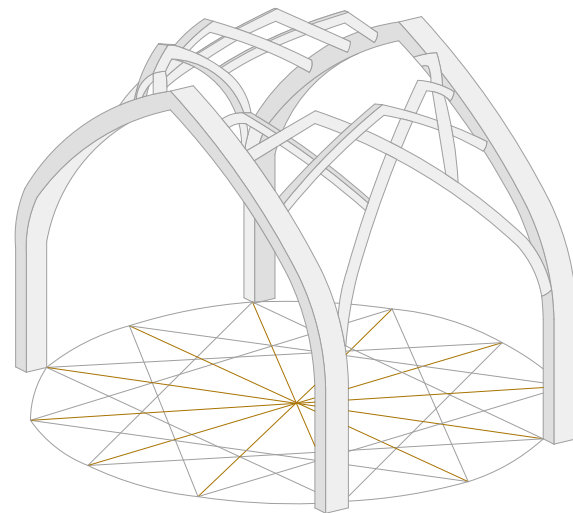


Abbildung 177: Übertragung eines 12er-Karbandi von Grundriss in den dreidimensionalen Raum

Zur Überwölbung von Räumen mit einem 8-eckigen Grundriss wurden Karbandis in den Konfigurationen $8/2$, $8/3$, $10/3$, $12/4$, $12/5$, $14/5$ und $16/4$ eingesetzt.

Die folgende Tabelle beinhaltet die möglichen Verhältnisse von n und d für quadratische bzw. rechteckige Raumgrundrisse. Die hellere Farbe verweist auf ein geeignetes Verhältnis von n und d für Räume mit rechteckigem Grundriss; die dunklere Farbe auf das Gleiche für Räume mit quadratischem Grundriss.



Abbildung 178: Die Verhältnisse von n und d:
 Für Räume mit rechteckigem Grundriss
 Für Räume mit quadratischem Grundriss

Abbildung 179: Karbandi im Ganjali-Khan-Hammam in Kerman

9									
8									
7									
6									
5									
4									
3									
2									
1									
d ↑									
n →	4	6	8	10	12	14	16	18	20

Karbandi-Konstruktionen, die zur Überwölbung kleinerer Räume benutzt werden, bestehen aus 2 tragende Hauptbögen im Falle eines rechteckigen Raumgrundrisses bzw. 4 tragende Hauptbögen im Falle eines quadratischen Raumgrundrisses. Die 4 tragenden Hauptbögen haben die gleiche Höhe. Bei rechteckigen Räumen mit nur 2 tragende Hauptbögen, werden diese durch niedrigere Nebenbögen miteinander verbunden. Diese niedrigeren Bögen werden auf Persisch „Padarhava“ genannt. Die Kappen werden zwischen den 2 Hauptbögen gezogen und mit den Nebenbögen durch einen Aufsatz, der auf Persisch „Susani“ genannt wird verbun-

den. Die Kappen werden, je nachdem in welcher Reihe sie sich befinden, unterschiedlich bezeichnet. Kappen in der untersten Reihe sind eher langgezogen und werden „Pabarik“ genannt. Kappen in den darüber liegenden Reihen werden als „Shaparak“ bezeichnet. Sowohl Pabarik, als auch Shaparak sind rautenförmig. In der obersten Reihe, unmittelbar am Fußkreis der Überwölbung befinden sich dreieckförmige Kappen, die „Sanboose“ genannt werden. Diese Reihe selbst, die zusammen mit der Überwölbung im Querschnitt an einer Sonnenform erinnert, wird „Shamseh“ genannt.

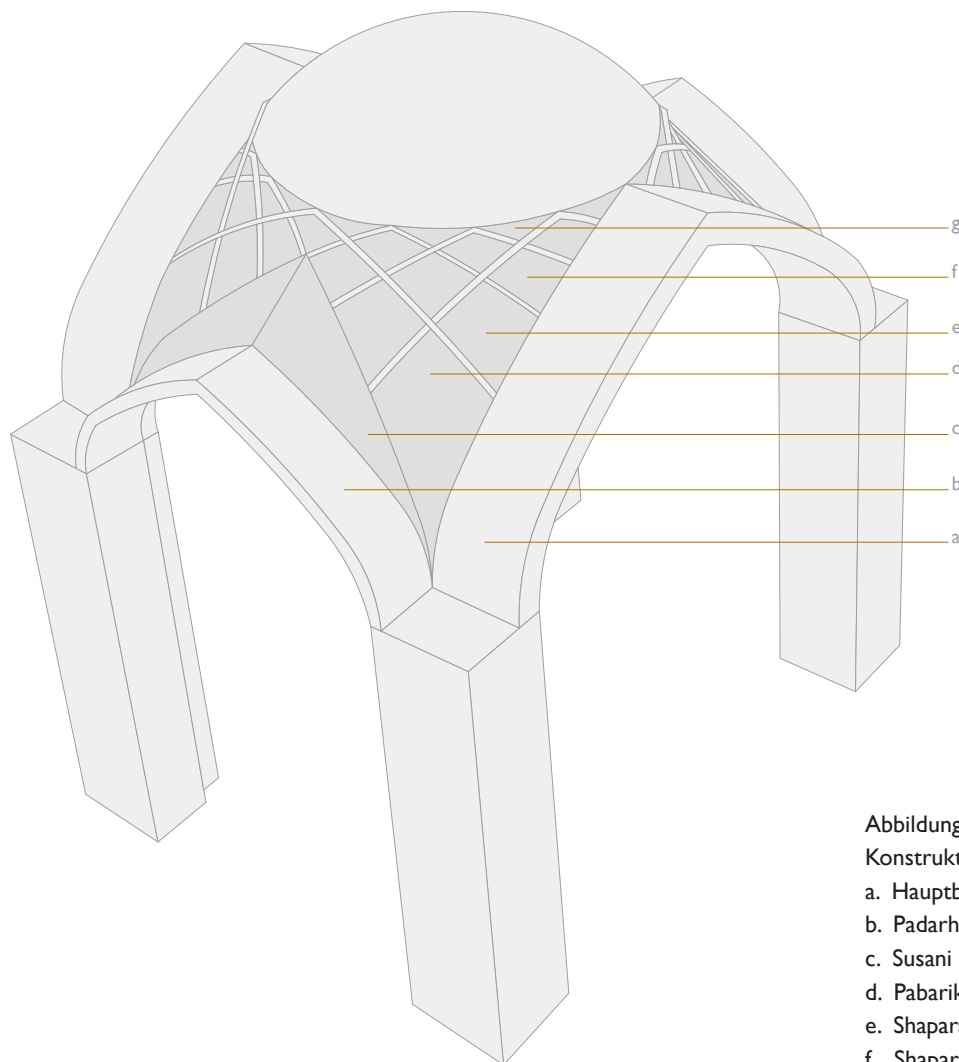


Abbildung 180: Elemente der Karbandi-Konstruktion:

- a. Hauptbogen
- b. Padarhava
- c. Susani
- d. Pabarik
- e. Shaparak
- f. Shaparak
- g. Sanboose

Karbandi als Eckausbildung

In ihrer Rolle als Eckausbildung werden Karbandis in Räumen mit quadratischem Grundriss eingesetzt. In diesem Fall bestehen sie aus vier Hauptbögen um die Raumkanten. Beispiele für solche Eckausbildungen findet man in der Agha-Bozorg-Moschee in Kashan aus dem 18. Jahrhundert; in der Freitagsmoschee von Shahreh-Kord, ebenfalls aus dem 18. Jahrhundert, und in der Sheikh-Lotfollah-Moschee von Isfahan aus dem 17. Jahrhundert.

Der Kuppelraum der Agha-Bozorg-Moschee bildet einen Sonderfall, da er einen hexagonalen Grundriss besitzt. Hier wurde über jede Raumkante ein tragender Bogen bis zum Kuppelfußkreis gezogen. Zwischen diesen Bögen wurden die Nebenrippenbögen des Karbandis in drei Reihen eingefügt. Das ergibt eine Pabarik-Reihe und zwei Shaparak-Reihen. Diese Kombination ergibt ein 24er Karbandi, das die Kuppel trägt.



Abbildung 181: Blick in die Kuppel der Agha-Bozorg-Moschee in Kashan

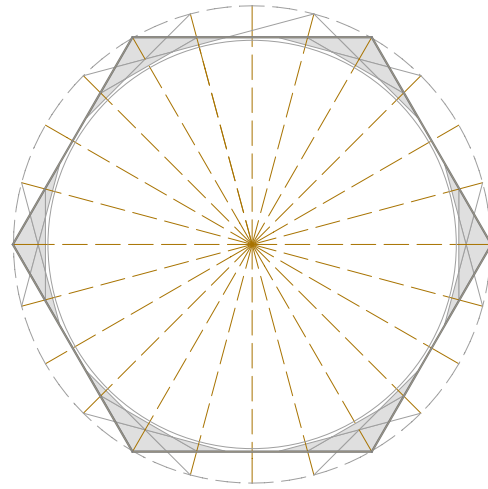


Abbildung 182: Geometrische Darstellung eines 24er Karbandi in der Agha-Bozorg-Moschee in Kashan

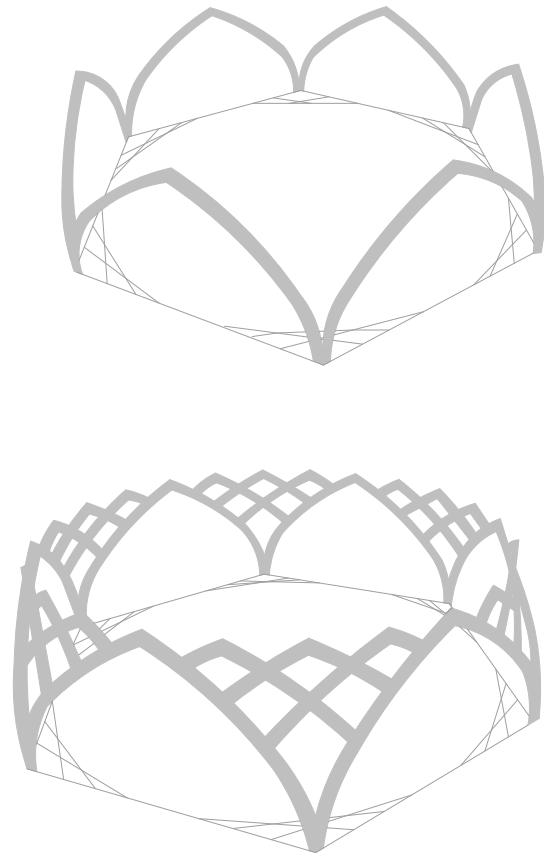


Abbildung 183: Schematische Darstellung des Karbandi der Agha-Bozorg-Moschee in Kashan

Die Eckausbildung in der Freitagsmoschee von Shahreh-Kord dient zur Überleitung des quadratischen Unterbaus zum Kuppelfußkreis. Dazu wird ein Eskonj mit Karbandi-Elementen verwendet. Im Gegensatz zum üblichen Fall, in dem die Eckausbildung oberhalb des Unterbaus aufgesetzt wird, fängt die Überleitung bereits im Unterbau an. Die Eskonj wurden in den Raumecken des Unterbaus platziert und werden durch vier tragende Bögen in den Raumkanten verbunden. Die Spitzen des Eskonj liegen niedriger als die Bogenspitzen; dieser Höhenunterschied wird durch zehn die Eskonj-Spitze gespiegelte Pabarik überbrückt. Bis zum Kuppelfußkreis ergeben sich noch 12 Sanboose-Elemente. Darüber liegt der Fußkreis der Kuppel.

$$\left\{ \frac{n}{d} \right\} = \frac{12}{2}$$

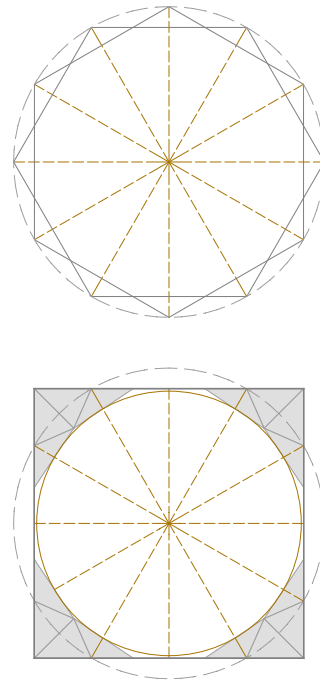


Abbildung 185: Geometrische Darstellung eines 12er Karbandi mit n/d Verhältnis von 12/2



Abbildung 184: Innenansicht der Freitagsmoschee von Shahreh-Kord

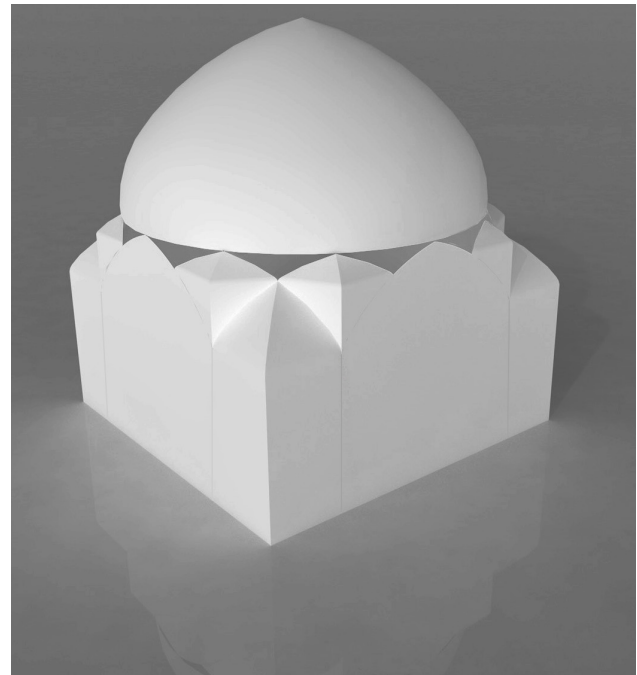


Abbildung 186: 3D-Darstellung der Außenansicht des Karbandis in der Freitagsmoschee von Shahreh-Kord

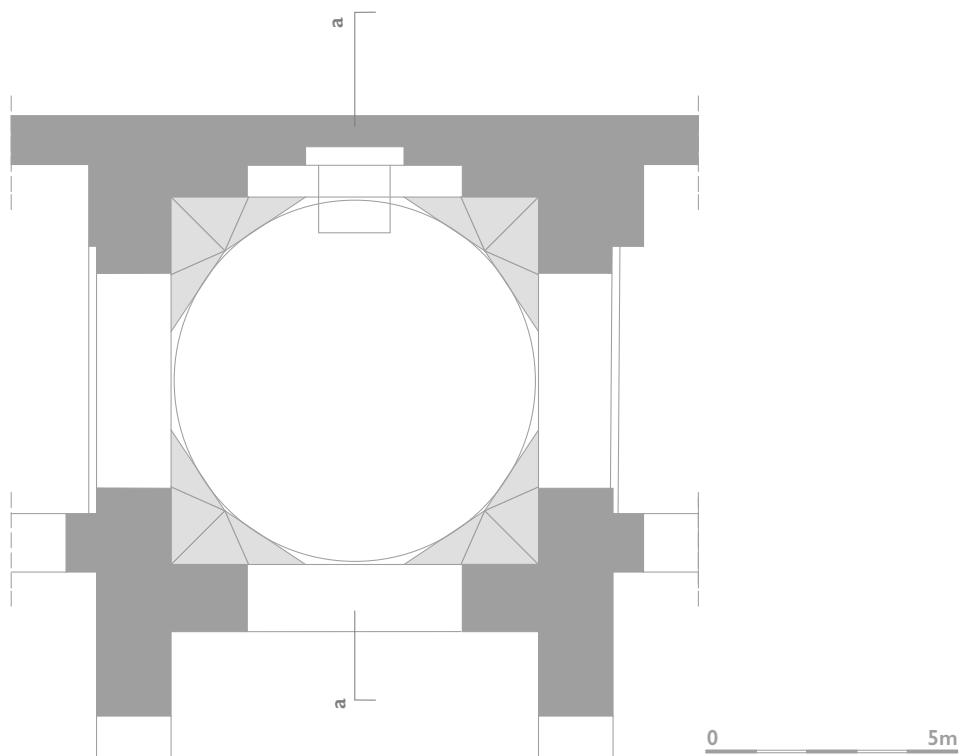


Abbildung 187: Grundriss der Freitagsmoschee von Shahreh-Kord

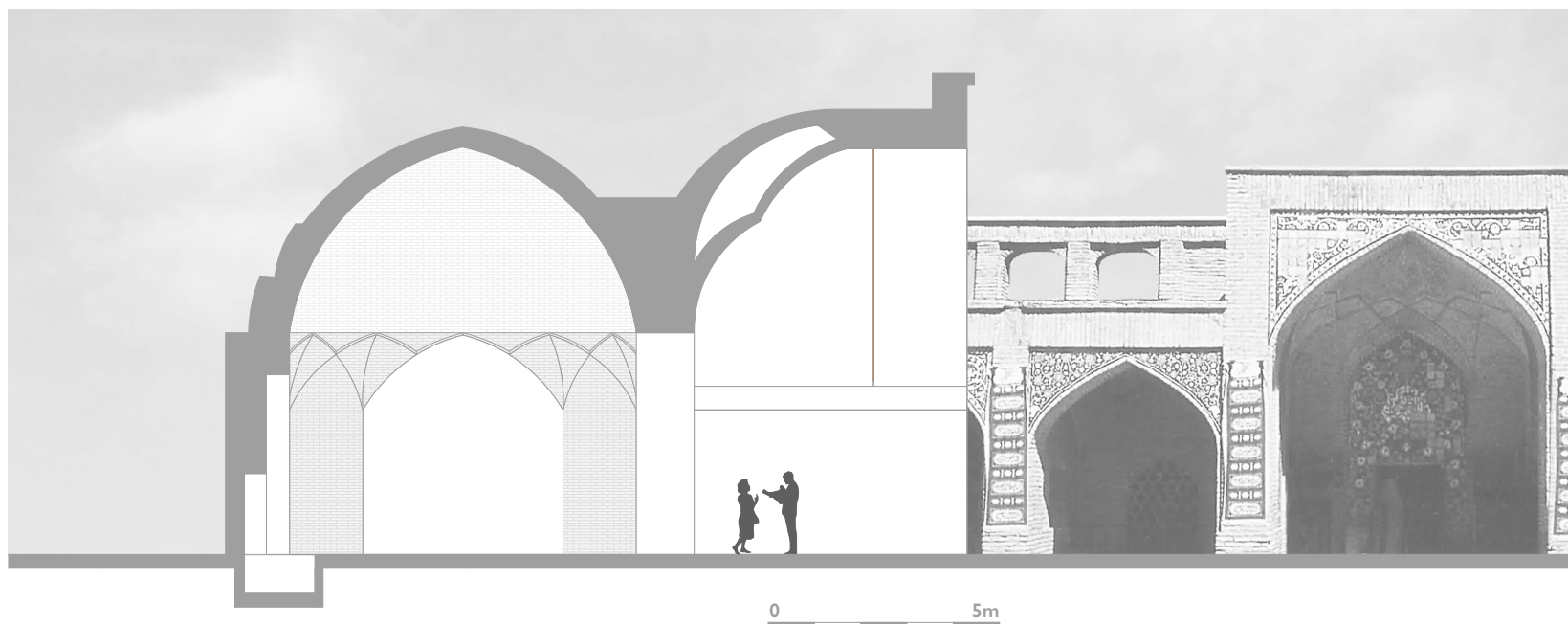


Abbildung 188: Schnitt durch die Freitagsmoschee von Shahreh-Kord

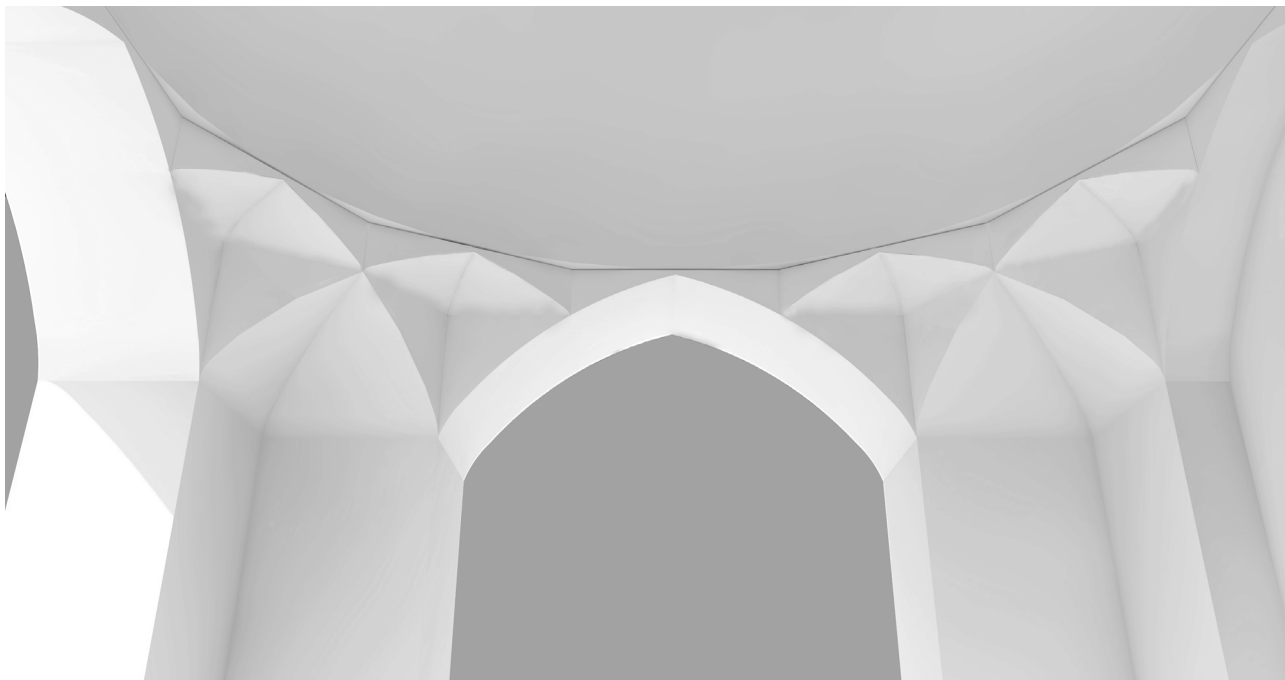


Abbildung 189: Karbandi in der Freitagsmoschee von Shahreh-Kord

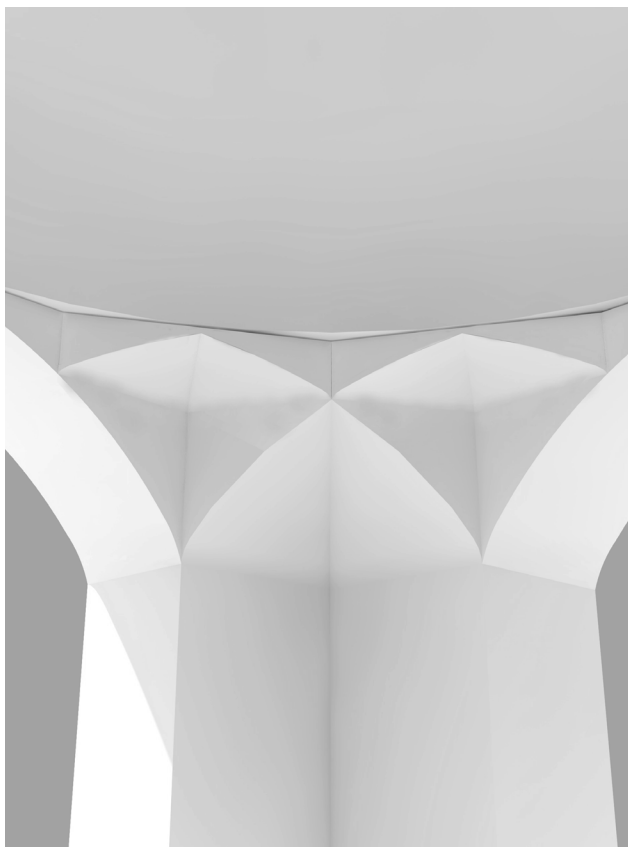


Abbildung 190: Schrägansicht des Karbandis in der Freitagsmoschee von Shahreh-Kord

Die Sheikh-Lotfollah-Moschee von Isfahan, die in der Zeit von 1601 bis 1628 errichtet wurde, folgt in der Eckausbildung dem gleichen Prinzip wie die Freitagsmoschee von Shahreh Kord [HEME-2014: S.106].

Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass sich die Spitzen der Eskonj und der tragenden Bögen auf gleicher Höhe befinden. Um den Übergang zum 16-Eck zu erreichen, wurden zwischen Bögen und Eskonh eine Pabarik-Reihe und zwei Sanboose-Reihen gebaut. Die Rippenbögenspitzen der Pabarik-Elemente liegen ebenfalls auf der gleichen Höhe. Oberhalb dieses 16-eckigen Übergangselements liegt noch ein Tambour mit 32 Fenstern. Darüber liegt der Fußkreis der einschaligen Kuppel.

$$\left\{ \frac{n}{d} \right\} = \frac{16}{2}$$

Abbildung 191: Karbandi in der Sheikh-Lotfollah-Moschee von Isfahan

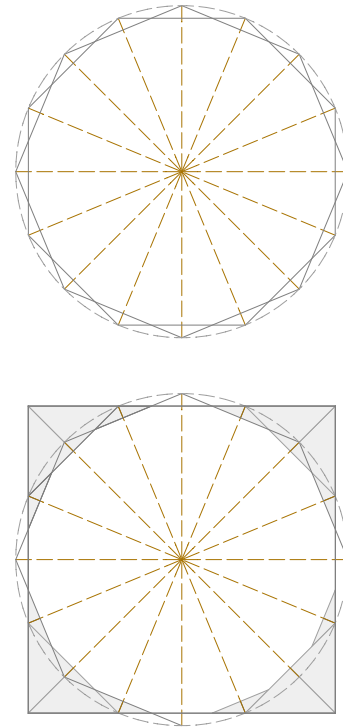


Abbildung 192: Geometrische Darstellung eines 16er Karbandi mit n/d Verhältnis von 16/2



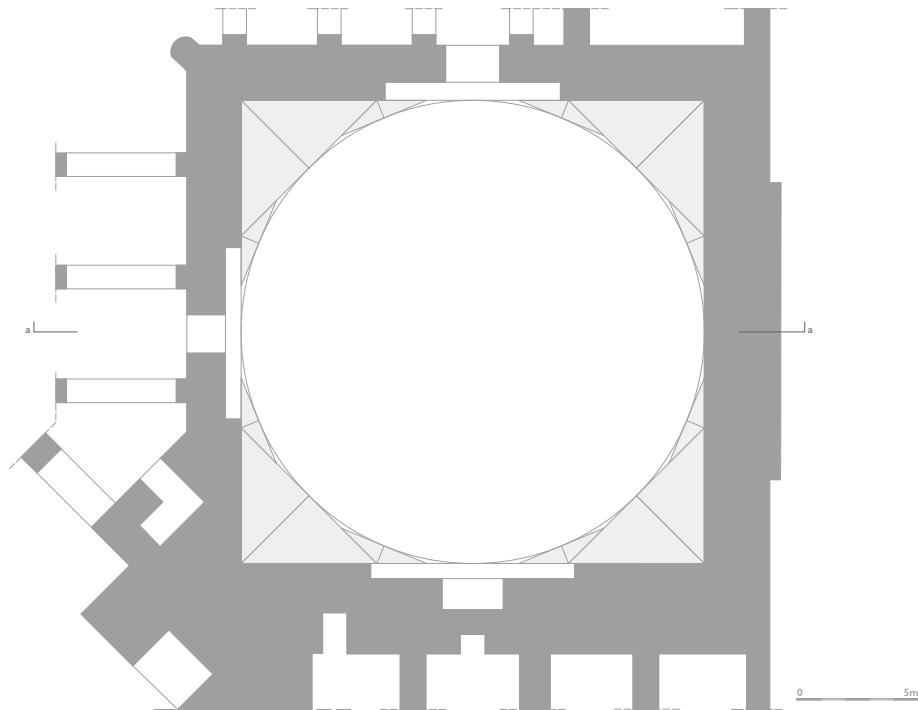


Abbildung 193: Grundriss der Sheikh-Lotfollah-Moschee von Isfahan



Abbildung 194: Schnitt durch die Sheikh-Lotfollah-Moschee von Isfahan

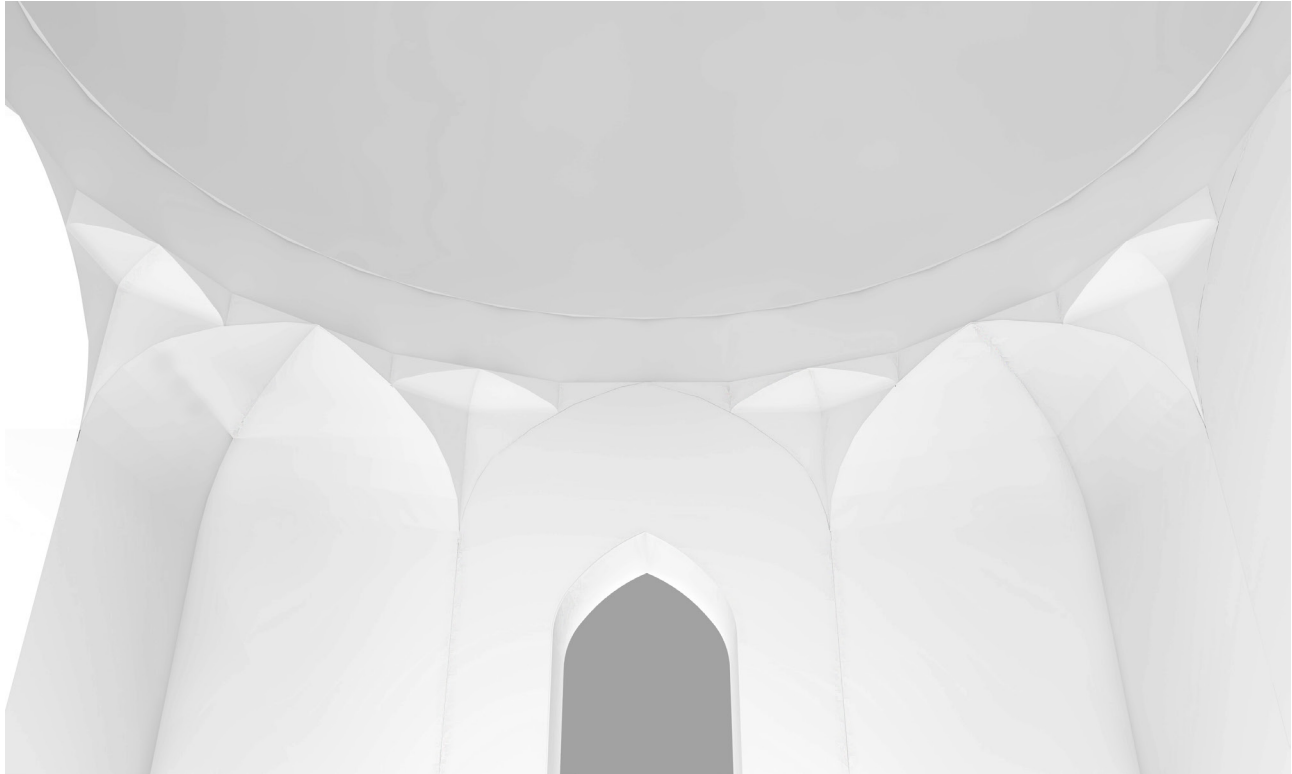


Abbildung 195: Karbandi in der Sheikh-Lotfollah-Moschee von Isfahan



Abbildung 196: 3D-Darstellung der Außenansicht des Karbandis in der Sheikh-Lotfollah-Moschee

Epilog

Von den drei Hauptelementen eines Kuppelbauwerks (Unterbau, Eckausbildung und Kuppel) ist insbesondere die Eckausbildung im Mittelpunkt architektonischer Kreativität gestanden und unterlag daher im Laufe der Geschichte großen Wandlungen. Aus chronologischer Sicht kann man grob drei Perioden definieren, in denen wesentliche Innovationen stattfanden.

Die ersten Schritte in der Entwicklung der Eckausbildungen fielen zusammen mit der Sassaniden-Dynastie ab dem dritten Jahrhundert. Die Eckausbildungen wurden sehr einfach mit lokalen Hölzer bzw. Steinen, die mit Mörtel verbunden waren, gebaut. Typische Beispiel dafür findet man in dem Firuzabad-Palast aus dem dritten und dem Sarvestan-Palast aus dem fünften Jahrhundert.

Die zweite Periode erstreckt sich vom 10. Jahrhundert bis zum Beginn des 13. Jahrhunderts. In dieser Zeit fanden beträchtliche Verbesserungen in statischer und gestalterischer Hinsicht statt. Durch die Etablierung von mathematischen Modellen und der geometrischen Anordnung von Komponenten der Eckausbildung konnte eine harmonische Verbindung von Baukonstruktion und dekorativer Ausstattung erreicht werden. Die Form der unterschiedlichen Eckausbildungen und Kuppelüberdeckungen wurde durch die Einführung von Backstein als wichtigstes Baumaterial der Seldschuken-Periode bestimmt. Beispielhaft für diese Periode kann hier die Freitagmoschee von Isfahan angeführt werden.

Die dritte und letzte Entwicklungsphase fällt in der Zeit der Ilkhaniden und Timuriden von der Mitte des 13. bis zum 16. Jahrhundert. Es wurde die optimale statische Lösung dafür gefunden, die Eckausbildung als Auflage zur Stützung der Kuppel abzulösen. Damit wurde die enge Abhängigkeit tragender und gestalterischer Elemente aufgehoben, woraus vielfältige und aufwendige geometrische Anordnungen der Eckausbildungselemente als visuelle Stützung der Kuppel entstanden. In den Bauten aus dieser Zeit erkennt man eine verstärkte Tendenz zum prächtigeren Oberflächendekor durch die Verwendung von Mosaiken aus glasierten Ziegeln. Typische Vertreter dieser Periode sind das Öldscheitü-Mausoleum (Soltaniyeh-Mausoleum) aus dem 14. Jahrhundert (zur

Zeit der Ilkhaniden).

Nach dieser Periode, ab der Safawiden-Ära (von 1501 bis 1722) entwickelte sich allerdings keine grundlegend neue Idee mehr. Es wurden vielmehr die charakteristischen Aspekte aus der dritten Periode als Leitbild genommen. Allerdings entstanden in dieser Zeit eine große Anzahl architektonischer Meisterwerke, so dass sie in dieser Hinsicht als die Blütezeit der iranischen Architektur angesehen wird. Der Schwerpunkt der Entwicklung lag auf dem Ausbau von Karbandi als Element der Eckausbildung und Überwölbung. Die Imam-Moschee von Isfahan aus dem Jahr 1611 ist ein typischer Repräsentant der Architektur dieser Periode.

Die Periode nach den Safawiden bis zum Ende des 18. Jahrhunderts war geprägt von internen und äußeren Feldzügen, die kaum Ressourcen für neue Monumente übrig ließen. Nach der Festigung der Qadjaren-Dynastie wurde die Bautätigkeit wieder intensiviert, allerdings nach Vorbildern aus der Safawiden-Ära. Als Beispiel wird auf den Vakil-Basar in Kerman verwiesen.

Das 20. Jahrhundert, in Zeit der Pahlavi-Dynastie ab 1925, war geprägt vom Versuch, die iranische Architekturtradition wiederzubeleben und gleichzeitig zu modernisieren. Man findet Elemente aus dem gesamten Spektrum der drei beschriebenen Perioden, die mit westlichen Bauformen kombiniert in Kuppelkonstruktionen eingesetzt wurden. Dieser Aspekt kann selbst als Teil der iranischen Architekturtradition im Kuppelbau angesehen werden, denn keine der Perioden hat seine Vorgänger restlos ersetzt. Vielmehr kann jede neue Innovation oder Konstruktionstechnik mit einem neuen Zweig verglichen werden; die alten Zweige bleiben bestehen und wachsen vielleicht in geringerem Ausmaß, aber der Baum wird insgesamt reichhaltiger.

Abbildung 197: Vakil-Bazar in Kerman



Glossar

Abbasiden	Das islamische Kalifat der Abbasiden herrschte von 750 bis 1258
Achämeniden	Persische Dynastie, die vom 6. bis zum späten 4. Jh.v.Chr geherrscht hat
Arsakiden	Persische Dynastie, die vom 3. Jh.v.Chr. bis zum 3. Jh.n.Chr geherrscht hat
Basto	Elliptische Kuppelschalenform, bei dem das Verhältnis des Brennpunktabstands der Ellipse zum Kuppelbasiskreisdurchmesser $8/6$ entspricht
Buyiden	Persische Dynastie, die von 930-1062 geherrscht hat
Chilo	Kuppelschalenform, bei der der Längsschnitt durch den Kuppelscheitel einen Ellipsenausschnitt bildet, dessen Brennpunktabstand dem Durchmesser des Kuppelfußkreises entspricht. Wird auch Holuchin Tond genannt.
Eckausbildung	Konstruktion in einem Kuppelbauwerk, die die Verbindung zwischen den Unterbauwänden und der Kuppel selbst herstellt
Eskonj	Art der Eckausbildung, ähnlich wie ein Klostergewölbe, das diagonal geschnitten ist
Eskop	Ein U-förmiger Nagel zur Befestigung von Holzbalken aneinander
Filpusch	Die älteste Trompenart, auch Trichtergewölbe oder Trichternische genannt. Sie hat die Form eines liegenden Halb-Hohlkegel, deren Basis in den Innenraum und deren Spitze nach außen gerichtet ist
Gaz	altertümliche Längenmaßeinheit, die 106,6cm entspricht
Gereh	altertümliche Längenmaßeinheit, die 6,66cm entspricht
Ghaznawiden	Persische Dynastie, die von 977-1186 geherrscht hat
Hammam	Ein öffentliches Warmbad
Hanjar	Dünne Holzbalken, die bei der Konstruktion einschaliger Kuppeln zur Befestigung des Schahangs an der Kuppelschale verwendet wurden
Holuchin Kond	Kuppelschalenform, siehe Khagi
Holuchin Tond	Kuppelschalenform, siehe Chilo
Iwan	Großes, dem Hof zugewandtes Portal in einer Moschee
Ilkhane	Persische Dynastie, die von 1256-1335 geherrscht hat

Karawanserei	Herberge für Reisende und Händler
Karbandi	Struktur, die aus der Kombination einer Anzahl von Kreuzrippenbögen und dazwischenliegende Kappen entsteht
Khagi	Geometrische Form für Kuppelschalen, die dem Profil eines Eies annähert. Wird auch Holuchin Kond genannt.
Khashkhashi	Inspiziert von der Form der Kapseln des Schlafmohns, diente die Khashkhashi der Stärkung der Tragfähigkeit der äußeren Kuppelschale von Rok- und Nar-Kuppeln
Kombize	Kuppelbauwerk mit ovalem Unterbau
Kufi	Islamische Schreibkunst
Mihrab	Der Platz des Vorbeters im Gebetsraum
Muqarnas	Dreidimensionale Dekorformen, die zur Ausgestaltung von Nischen, Kuppel und anderen vorspringenden oder gewölbten Gebäudeteile verwendet werden
Nar	Konstruktionsvariante für zweischalige Kuppeln mit großem Schalenabstand. Die Innenschale wurde nach Holuchin- oder Sabuyi-Art konstruiert. Für die Außenschale wurden Shabdari-Formen zum Einsatz
Orchin	Variante der Rok-Kuppelkonstruktion mit treppenförmiger Außenschale
Pabarik	Untere rauteförmige Kappe in Karbandi
Padarhava	Siehe Karbandi
Pahlavi	Persische Dynastie, die von 1925-1980 geherrscht hat
Paraste	Zylinderförmige Konstruktion, die auf dem Kuppelfußkreis über der Übergangszone angeordnet wird, um eine Erhöhung der Kuppelbasis zu bewirken
Patkaneh	Die aufgrund ihrer Komplexität am weitesten entwickelte Trompenart, die durch die Anordnung von Tase entsteht
Patkin	Auch Patkineh. Eine Trompenart, die auch unter dem Namen Stufentrompe bekannt ist. Sie wurde aus übereinander gesetzten, vorkragenden Mauerschichten oder Steinbalken gebildet
Persepolis	Hauptstadt des antiken Perserreichs unter den Achämeniden, im 5. Jahrhundert v.Chr. erbaut
Qadjaren	Persische Dynastie, die von 1779 bis zum 1925 geherrscht hat
Qibla	Die Gebetsrichtung in Islam; die Betenden stellen sich in Richtung Mekka auf
Rok	Kuppelkonstruktion mit kegel- oder pyramidenförmiger Außenschale

Sassaniden	Persische Dynastie, von 224-651 geherrscht hat
Sabuyi	Eine Kuppelschalenform, die ein Gewölbe mit spitzwinkligem Scheitelpunkt bildet
Safawiden	Persische Dynastie, die von 1501-1722 geherrscht hat
Samaniden	Persische Dynastie, die von 819-1005 geherrscht hat
Sanboose	Dreieckförmige Kappen im Karbandi
Sarvak	Eine Unterkategorie von Nar-Kuppeln
Shabdari	Eine Art Spitzbogen, die als Form der äußeren Schale von zweischaligen Kuppeln mit geringem Schalenabstand zum Einsatz kam
Schahang	Stütze aus Holz, die bei der Konstruktion einschaliger Kuppeln eingesetzt wurde. Sie wurde vertikal aufgestellt und korrespondierte mit der Hauptachse der Ellipse, die durch einen Längsschnitt durch den Kuppelscheitel entsteht
Seldschuken	Persische Dynastie, die von 1040-1194 geherrscht hat
Shamseh	Sonnenförmiger Teil, der aus der Kombination von Sanboose-Elemente unter der Wölbung entsteht
Shaparak	Obere rauteförmige Kappen im Karbandi
Susani	Siehe Karabandi
Taghbandi	Eckausbildungskonstruktion, die durch den Bogen, seiner Umrahmung und die Bogenzwickel entsteht. Sie hatte keine lasttragende, sondern nur eine gestalterische Funktion
Tambour	Ein vertikales Verbindungselement zwischen Unterbau und Kuppel des Kuppelbauwerks. Diente der Erhöhung der Kuppel
Tarkin	Eine Kuppelkonstruktion mit einem Gerüst gleicher, radial verlaufender Rippen, die sich im Kuppelscheitel schneiden und zwischen denen Kuppelfelder als Füllmauerwerk aufgespannt sind
Tase	Ein nischenartiges, gewölbtes Dreieck
Timuriden	Persische Dynastie, die von 1370-1507 geherrscht hat
Trompe	Die am häufigsten verwendete Konstruktion zur Überleitung vom Mauerquadrat zur Kuppel
Varis	Wurzeln eine Marschpflanze, die zur Verbindung von Holzbalken verwendet wurden
Yachtschal	Persisches Wort für Kühlraum

Bibliographie

- [BAKH-2005] BAKHTIAR Afshin; *Iran Gahvareh Tamadon (Iran, Wiege der Zivilisation)*; 2005; Verlag Khaneh Frahang va Honar Gooya; ISBN 964-7610-03-3
ایران گهواره تمدن؛ افشین بختیار؛ ۱۳۸۳؛ چاپخانه خانه فرهنگ و هنر گویا
- [GOD-1990] GODARD Andre; *Taghaye Irani (Iranische Gewölbe)*; Übersetzung von Karamat Aleh Afsar; Verlag Padideh, 1990
طاقهای ایرانی؛ نویسنده اندره گدار؛ ترجمه کرامت اله افسر؛ ۱۳۶۹؛ چاپ پدیده
- [HIGR-1964] HILL, Derek, GRABAR, Oleg; *Islamic Architecture and its Decoration A.D. 800-1500, a Photographic Survey*; University of Chicago Press; 1964
Ins Persische übersetzt von: VAHDATI DANESHMAND, Mehrdad; herausgegeben von Verlag Elmi va Farhangi
- [HQAS-1999] HAJI-QASSEMI, Kambiz; *Ganjnameh, Cyclopeadia of Iranian Islamic Architecture, Vol. 7; Congregational Mosques*; Shahid Beheshti University, Faculty of Architecture and Urban Planning, Documentation and Research Center, Verlag Rowzaneh, 1999
گنجنامه، فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران؛ مساجد جامع
مرکز اسناد و تحقیقات دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۷۸ انتشارات روزنه
- [HADE-2005] HATTSTEIN Markus / DELIUS Peter; *Islam Kunst und Architektur*; Tandem Verlag GmbH; ©2005/7; ISBN 978-3-8331-3533-0
- [HEME-2014] HEJAZI Mehrdad, MEHDIZADEH-SARADJ; *Persian Architectural Heritage: Architecture, Structure and Conservation*; WIT Press; 2014; ISBN: 978-1-78466-070-3
- [KAS-1987] KASHANI Ghiath al-din Jamshid; *Tagh va Azaj (Vault and Cradle Vault)*; aus dem 15. Jahrhundert, Übersetzung und Einleitung von Sayyid Ali-Reza Jadhbi; Verlag Soroush Press, 1987
رساله طاق و ازج؛ غیاث الدین جمشید کاشانی در قرن ۹ هجری؛ ترجمه و سید علیرضا جذبی؛ ۱۳۶۶؛ انتشارات سروش
- [KORN-2012] KORN, Lorenz; *Die Moschee: Architektur und Religiöses Leben*; Verlag C.H. Beck; 2012; ISBN 978-3-406-63332-4

- [LEH-1990] LEHNER Erich; „Die Entstehung der Kragwölbung, Aspekte zur Konvergenztheorie“ in Martin KUBELIK / Alois MACHATSCHEK (Hg.); *Tradition und Zukunft, Band 3*; Publikationsreihe des Instituts für Baukunst und Bauaufnahmen, Technische Universität Wien
- [MAFA-2011] MANSOUR Saheb Mohamadian / FARAMARZI Sina; „Gooneh Shenasi va Tadvin Sakhtare Hendesi Karbandi dar Memari Irani (Konstruktion und Geometrie von Karbandi in der iranischen Architektur)“ in *Nashrieh Honrahaye Ziba, Memari va Shahrsazi (Zeitschrift der bildenden Künste, Architektur und Städtebau)*; Nummer 48, Winter 2011
نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی؛ شماره ۴۸، زمستان ۱۳۹۰
- [MAFA-2013] MANSOUR Saheb Mohamadian / FARAMARZI Sina; „Baresi Nazm Shebhe Tanavobi Dar Sakhtare Hendesi Patkaneh (Analyse der regelmäßigen geometrischen Formen des Patkaneh)“; in *Nashrieh Honrahaye Ziba, Memari va Shahrsazi (Zeitschrift der bildenden Künste, Architektur und Städtebau)*; Serie 18, Nummer 2, Sommer 2013
نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی؛ دوره ۱۸ شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲
- [MEM-1-2012] MEMARIAN Gholamhossein; *Memari Irani (Iransiche Architektur), Band 1*; Verlag Naghme Noandish; Sommer 2012
معماری ایرانی؛ جلد اول؛ تحقیق و تألیف غلامحسین معماریان؛ تابستان ۱۳۹۱؛ انتشارات نغمه نواندیش
- [MEM-2-2012] MEMARIAN Gholamhossein; *Memari Irani (Iransiche Architektur), Band 2*; Verlag Naghme Noandish; Sommer 2012
معماری ایرانی؛ جلد دوم؛ تحقیق و تألیف غلامحسین معماریان؛ تابستان ۱۳۹۱؛ انتشارات نغمه نواندیش
- [MEM-3-2014] MEMARIAN Gholamhossein; *Sabkshenasi Memari Irani (Typologie iranischer Architektur), 16. Auflage*; Verlag Gh-Memarian; 2014
سیک شناسی معماری ایرانی؛ تألیف دکتر غلامحسین معماریان؛ ۱۳۹۳؛ ناشر مولف

- [PIR-1992] PIRNIA Mohamad Karim; "Zusammenstellung der Vorträge von Prof. Pirnia, #20: Chefd-ha va Tagh-ha (Bögen und Gewölbe), #24: Gonbad dar Memari Iran (Kuppel in der iransichen Architektur)" in *Asar*; Neuauflage der Nummer 22 (von Winter 1992) und 24 (von Herbst 1995) herausgegeben im Winter 2012; Herausgeber: Sazman Miras Farhangi, Sanaye Dasti va Gardeshgari
 اثر، فصلنامه علمی، فنی، هنری؛ بازچاپ اثر ۲۰ و ۲۴؛ چفدها و طاقها و گنبد در معماری ایرانی؛
 درس گفتارهای استاد محمد کریم پیرنیا
 سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری
- [PIR-1999] MEMARIAN Gholamhossein; *Tahghig dar Memari Gozashteh Iran (Untersuchung der historischen iranischen Architektur); Zusammenstellung der Werke von Professor Mohamad Karim Pirnia*; Verlag Universität Elm va Sanat; I. Auflage; August 1999
 تحقیق در معماری گذشته ایران؛ تألیف استاد محمد کریم پیرنیا، تدوین غلامحسین معماریان؛ شهریور ۱۳۷۸؛
 مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت
- [POPE-1972] POPE, Arthur Upham; *Memari Irani (Iranische Architecture)*; übersetzt aus dem Englischen von SADRI-AFSHAR, Gholamhossein (Original: *Introducing Persian Architecture*, Oxford University Press, 1972); Verlag Dast
 ا پوپ؛ معماری ایران؛ ترجمه غلام حسین صدری افشار؛ انتشارات داست
- [STIE-2012] STIERLIN Henri; *Persian Art and Architecture, translated from the French L'Art Persan by David H. Wilson*; Thames and Hudson Ltd. In 2012; ISBN 978-0-500-51642-3
- [ZOM-2011] ZOMORSHEIDI Hossein; *Gonbad va Anasor Taghi Iran (Kuppel und Gewölbeelemente im Iran)*; Verlag Khaneh Frahang va Honar Gooya; Februar 2011
 گنبد و عناصر طاقی ایران؛ تألیف حسین زمرشیدی؛ اسفند ۱۳۸۹؛ چاپخانه خانه فرهنگ و هنر گویا

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 2	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 6	http://www.asriran.com/fa/news/347849 ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 16	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 20	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 22	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 23	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 25	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 26	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 28	http://www.iran-daily.com/News/121892.html ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 30	http://forum.special.ir/archive/index.php/t-8514.html ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 31	[BAKH-2005]
Abbildung 32	[BAKH-2005]
Abbildung 33	[BAKH-2005]
Abbildung 39	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 40	http://fwallpapers.com/view/shah-cheragh-shiraz-iran ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 45	http://www.panoramio.com/photo/9040385 ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 48	http://www.panoramio.com/photo/61058144 ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 49	http://www.tishineh.com/touritem ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 56	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 57	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 62	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 63	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 64	http://www.livius.org/articles/place/sarvestan/ ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 65	http://www.panoramio.com/photo/62984103 ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 71	http://seeiran.ir/جعفر-امامزاده ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 72	http://www.safar-online.com/articles/photo/view/article_id/2/photo_id/653 ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 80	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 81	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 82	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 83	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 85	https://de.wikipedia.org/wiki/Samaniden-Mausoleum ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 86	[STIE-2012]
Abbildung 88	[STIE-2012]
Abbildung 96	http://archnet.org/sites/1618 ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 97	http://archnet.org/sites/1618 ; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
Abbildung 100	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 101	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 103	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 105	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 106	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 109	Fotosammlung Erich Lehner
Abbildung 117	Fotosammlung Erich Lehner

Abbildung 118 Fotosammlung Erich Lehner
 Abbildung 120 Fotosammlung Erich Lehner
 Abbildung 121 Fotosammlung Erich Lehner
 Abbildung 128 [HQAS-1999]
 Abbildung 129 [HQAS-1999]
 Abbildung 130 <http://www.samenblog.com/uploads/h/hamidomran/63649.jpg>; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
 Abbildung 138 [HADE-2005]
 Abbildung 139 <http://www.panoramio.com/photo/26091263>; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
 Abbildung 141 [HADE-2005]
 Abbildung 148 [HQAS-1999]
 Abbildung 149 [HQAS-1999]
 Abbildung 156 Fotosammlung Erich Lehner
 Abbildung 157 http://www.negahmedia.ir/media/show_pic/41156; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
 Abbildung 159 Fotosammlung Erich Lehner
 Abbildung 160 [ZOM-2011]
 Abbildung 167 <http://www.panoramio.com/photo/66889274>; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
 Abbildung 168 http://negah.irib.ir/media/show_pic/16074; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
 Abbildung 174 Fotosammlung Erich Lehner
 Abbildung 175 Fotosammlung Erich Lehner
 Abbildung 179 Fotosammlung Erich Lehner
 Abbildung 181 http://mimarali.net/?attachment_id=614; zuletzt abgerufen am 28.03.2016
 Abbildung 184 [HQAS-1999]
 Abbildung 191 Fotosammlung Erich Lehner
 Abbildung 197 Fotosammlung Erich Lehner

Alle sonstigen Bilder sind von der Autorin angefertigt.