

Zeitschrift: Ziegelei-Museum
Herausgeber: Ziegelei-Museum
Band: 36 (2019)

Artikel: Antike Gewölbeträgerwerke aus Tonröhren : Kurzdarstellung einer antiken Bautechnik
Autor: Storz, Sebastian
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-869276>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 31.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Antike Gewölbeträgerwerke aus Tonröhren Kurzdarstellung einer antiken Bautechnik¹

Sebastian Storz²

Einleitung

Ein reicher Bestand an beeindruckenden Ruinen bezeugt noch heute die umfassenden Urbanisierungs- und Bauprogramme, mit denen Rom als Hauptstadt des *Imperium Romanum* sein Weltreich aufgebaut, rechtlich, wirtschaftlich und zivilisatorisch sowie kulturell nach seinen Vorstellungen und Wertsetzungen durchdrungen und zu einer lang anhaltenden Blüte geführt hat. Der Ruinenbestand ist ein erzählfreudiges Zeugnis für die außergewöhnlichen Leistungen und folgenreichen Entwicklungen, die das römische Bauwesen über mehrere Jahrhunderte hin auf allen Gebieten der Bauaufgaben geleistet hat.

Die Entwicklung des Gewölbebaus und die Einführung des Baustoffs *Opus caementicium* bildeten die entscheidenden Voraussetzungen für die erfolgreiche Planung und Ausführung von Bauaufgaben, welche im Verlauf der römischen Antike und Spätantike immer aufs Neue die Herausforderung mit sich brachten, Räume mit wachsenden Spannweiten sowie Raumformen und Raumfolgen mit zunehmend differenzierter Grundrissgestalt zu überdecken. Das *Opus caementicium* als ein aus Bruchsteinen und Mörtelerguss im Bauvorgang selbst hergestellter Baustoff, der wegen seiner Affinität zu unserem heutigen Beton gerne auch als «römischer Beton» bezeichnet wird, war im Augenblick der Bauausführung ein zunächst amorphes, an jede beliebige Form geschmeidig anpassbares Gemenge. Dieses bedurfte einer Schalung, auf der die «Steinschichtung mit Mörtelerguss» bei einem schrittweisen Aufmauern von Hand zunächst die gewünschte Gewölbeform annehmen konnte, um dann, mit dem anschließend einsetzenden Abbindeprozess, die selbsttragende Fähigkeit eines monolithen Gewölbeträgerwerkes zu erreichen.

Die Baustoffkrise – der Mangel an Bauholz und die Folgen

Daran gewöhnt, dass Betonarbeiten heutzutage über Schalungsflächen aus Brettholz ausgeführt werden, sind Besucher antiker Stätten gewöhnlich wenig überrascht, Abdrücke solcher Schalungswerke auch an antiken Gewölben zu finden. Mit einiger

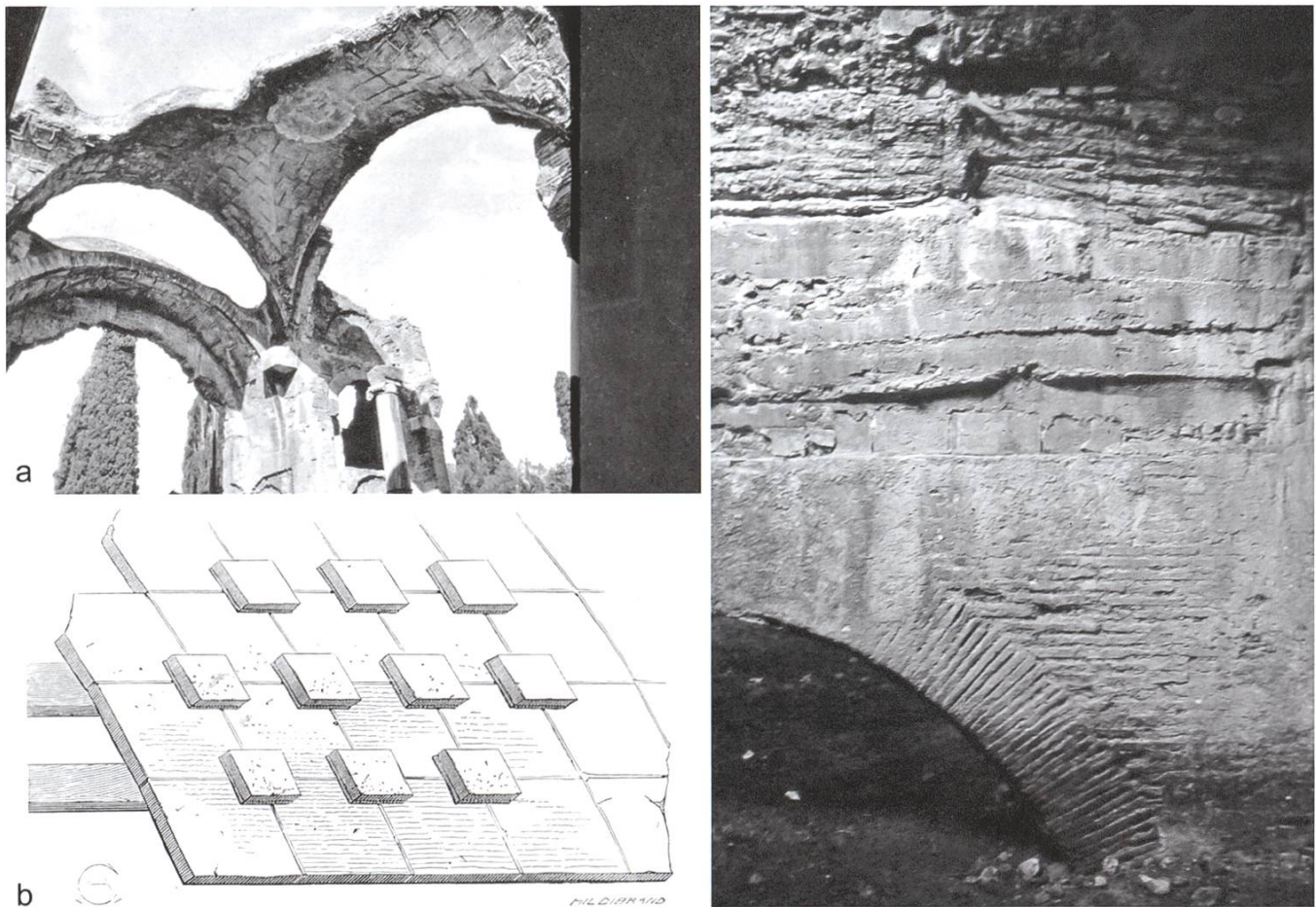


Abb. 1

a) Villa Adriana, Tivoli I, Große Thermen. Kreuzgratgewölbe aus *Opus caementicium* mit Abdrücken und anhaftenden Resten der Schalungsfläche aus Ziegeln.

b) Ziegelschalung auf Holzrost, nach Choisy 1873.

Abb. 2

Chemtou (Simitthus), Tunesien. Wasserspeicher des städtischen Aquäduktes, Gewölbe aus *Opus caementicium* mit Abdrücken der Schalung aus Brettern und Schilfrohmatten, 3. Jh. n.Chr.(?).

Verwunderung werden sie jedoch entdecken, dass an den Innenflächen von vielen *Caementicium*-Gewölben häufig auch anstelle der Abdrücke von Holzschalungen³ Abdrücke von Ziegelflächen zu beobachten sind (Abb. 1a). Manchmal sind auch die anhaftenden Reste der Ziegelmembranen noch erhalten. Weitere Befunde an anderen Bauwerken bezeugen auch den Gebrauch von Schilfrohrmatten⁴ (Abb. 2) und sogar von Matten aus Palmblättern – das allerdings sehr selten. Alle diese Befunde sind zunächst Hinweise auf eine Blütezeit des römischen Bauwesens, die im Verlauf des zweiten und dritten Jahrhunderts geherrscht hat. Sie bezeugen jedoch zugleich auch eine Baustoffkrise, denn sie signalisieren eine Verknappung und Verteuerung von Bauholz, das eine geeignete Qualität für die Herstellung von Schalungsflächen aus Brettern besitzt. Diese Krise machte sich besonders in jenen Gebieten des Römischen Reiches bemerkbar, in denen gutes Bauholz aufgrund der geographischen und natürlichen Umweltbedingungen ohnehin nur sehr begrenzt zur Verfügung stand, also in den Provinzen rund um das Mittelmeer und im Orient. Aber auch Italien war betroffen und bekam die seit der frühen Republik über mehrere Jahrhunderte bedenkenlos vorangetriebene Abholzung seiner Waldbestände deutlich zu spüren.



Abb. 3

Dougga, Maison du Dionysos et d'Ulisses. Kreuzgratgewölbe aus *Opus caementicium* mit Resten des Schalungstragwerkes aus Wölbröhren.

Alle vorab genannten Materialien, die als Ersatz für Bretterflächen benutzt wurden, brachten zwar eine deutliche Verminderung des Holzbedarfs mit sich. Aber um Schalungsflächen ersatzweise aus Mauerziegeln oder Schilfrohrmatten herstellen zu können, benötigte man in gewissem Umfang doch weiterhin noch Brettholz, nämlich in Form eines tragfähigen Rostes, auf dem das Ersatzmaterial als Schalungsfläche ausgebreitet werden konnte, allerdings in deutlich geringeren Mengen (Abb. 1b). Bei größeren Spannweiten benötigte man jedoch zusätzlich noch stützende Pfosten. So ließ sich bei der Verwendung dieser Ersatzbaustoffe der Holzbedarf zwar senken, aber nicht gänzlich ausschalten.

Angesichts dieser Situation standen die Baumeister der Antike vor der anspruchsvollen Herausforderung, für die Ausführung von Gewölbetragwerken aus *Opus caementicium* eine Schalungsbauweise zu ersinnen, die einen gänzlichen Verzicht auf Bauholz möglich machte.

Lösung des Problems: die Erfindung der Tonröhrenschalung

Eine überraschende Konstruktionsidee führte schließlich zum Ziel. Sie bestand in der Herstellung von Schalungsflächen aus Tonröhren (Wölbröhren).⁵ In den römischen Ruinenstätten



Abb. 4
Verbreitung der Bautechnik
von Gewölben aus Tonröhren.

Nordafrikas sind zahlreiche Gewölbe und Gewölbereste aus *Opus caementicium* erhalten, an deren Innenseite Reste oder Spuren von solchen Tonröhrenschalungen gut zu beobachten sind (Abb. 3).

Zur Herkunft des Bauverfahrens

«Es gibt gute Gründe für die Annahme, dass das Bauverfahren von Gewölbeträgerwerken aus Tonröhren seinen Ursprung im Töpferhandwerk hat und dass Brennofengewölbe aus Bogenreihen von ineinander gesteckten Tongefäßen den inspirierenden Anstoß zur Übernahme dieser Bauweise in die Großarchitektur gegeben haben.»⁶

Zur Verbreitung des Bauverfahrens⁷

Nach einigen frühen, noch nicht gänzlich geklärten Vorstufen, die in Italien festgestellt werden konnten, taucht das Bauverfahren dann, zur Zeit der Bauholzkrise, plötzlich als eine bereits voll ausgereifte Bautechnik an der Wende des 2. zum 3. Jahrhundert in Nordafrika auf (Abb. 4). Vor allem in Tunesien und Algerien wird der Gebrauch von Tonröhren zur bevorzugten, ja geradezu typischen Ausführungstechnik für Gewölbe aus *Opus caementicium*.

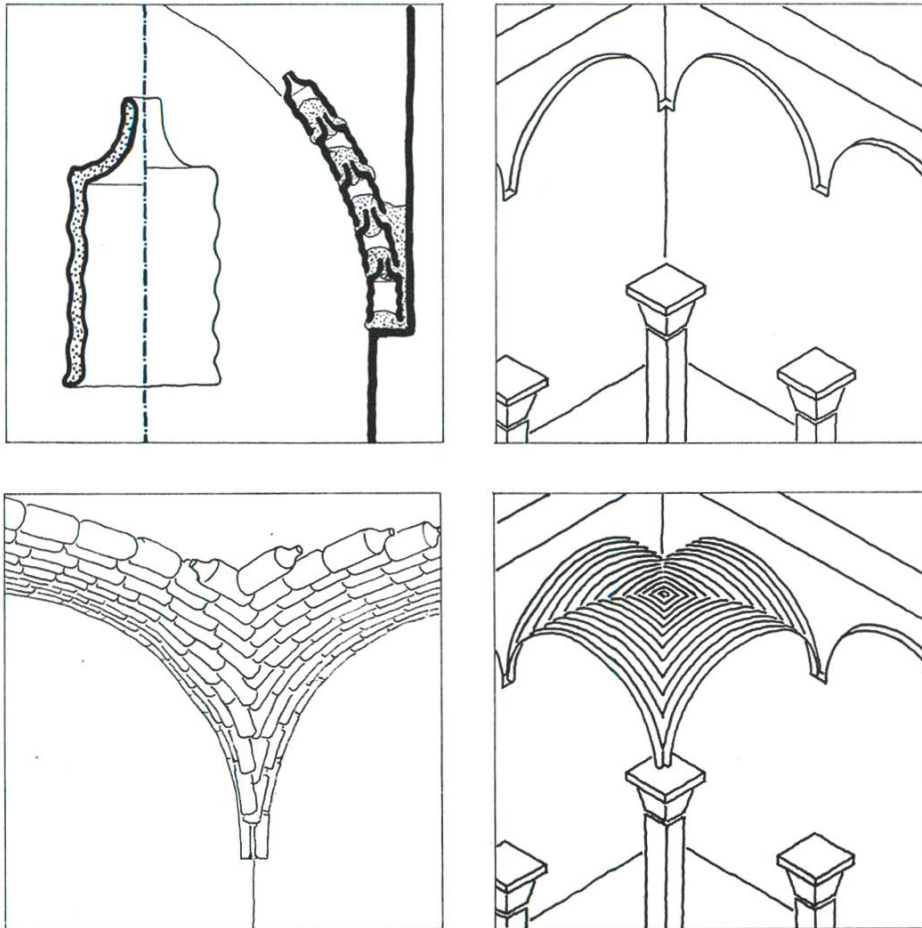


Abb. 5

Systemdarstellung: die Bautechnik von Gewölbe-tragwerken aus Tonröhren am Beispiel eines Kreuzgrat-gewölbes.

Befunde dieser Bautechnik gibt es auch in Libyen und Marokko. Die Bauweise gelangt von Nordafrika aus im späten 4. Jahrhundert nach Europa, vor allem nach Italien, wo die Befunde von Tonröhrengewölben schließlich im 5. und 6. Jahrhundert im Bereich der frühchristlichen Bauaufgaben markant zunehmen. In Spanien und Südfrankreich sind Befunde dieser Bauweise auch nachgewiesen, jedoch nicht sehr zahlreich. Im Norden Europas sind bisher vier Beispiele aus Großbritannien bekannt, in Osteuropa bislang ein Beispiel aus Ungarn. Auf dem Balkan gibt es drei Beispiele aus Kroatien und im Mittleren Osten ein Beispiel in Palästina und eines in Syrien.

Grundgedanke des Bauverfahrens: die Tonröhre und ihre Verwendung zur Errichtung von Bögen⁸

Antike Wölbröhren sind aus Keramik und haben die Gestalt einer Flasche ohne Boden. Sie besitzen einen zylindrischen Körper mit offener Standfläche, dessen oberer Rand sich über einer klar ausgeprägten Schulter zu einem konisch zulaufenden Hals verengt (Abb. 5 und 6). Der Hals diente dazu, die Röhren ineinander stecken zu können und sie zu Bogensegmenten zusammenzusetzen.

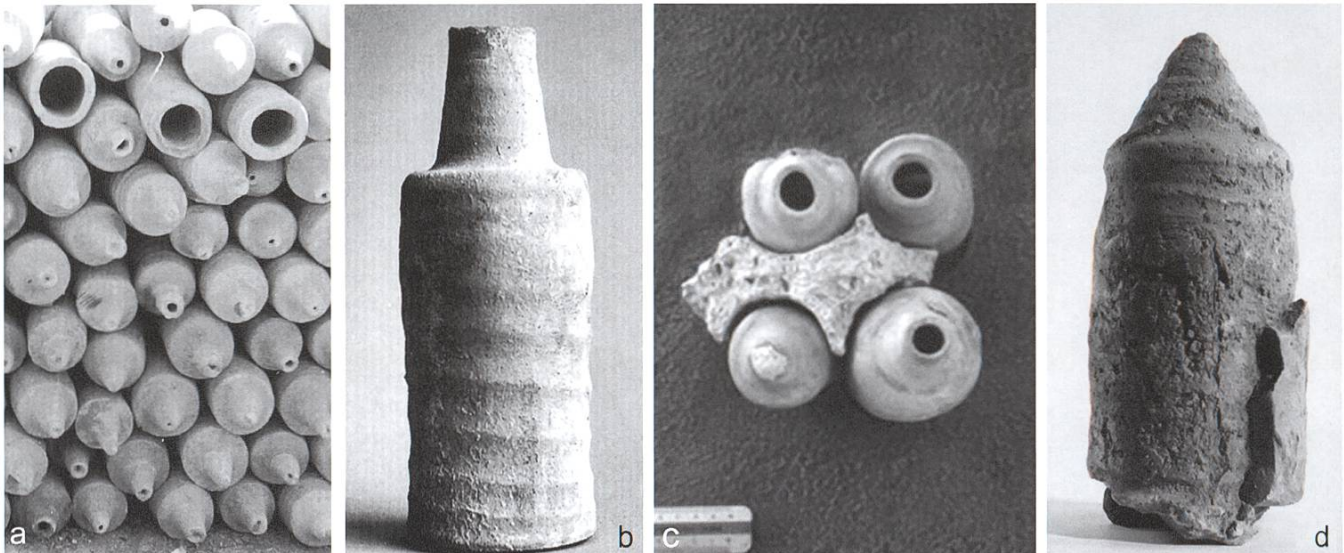


Abb. 6

- a) Bulla Regia, Tunesien, Maison de La Chasse. Funde von Tonröhren.
- b) Carthage, Tunesien, Kobbat Bent el Rey. Wölbröhrenfund.
- c) Carthage, Tunesien, Kobbat Bent el Rey. Funde Wölbröhren und Fugenmörtel.
- d) Morsott, Algerien. Fund von Mörtelfüllung einer Wölbröhre.

Die Grundlage des Konstruktionsgedankens war also die Entwicklung eines Standardbauteils, aus dem reichlich vorhandenen Rohstoff Ton, das ohne besonderen handwerklichen Aufwand auf der Töpferscheibe hergestellt werden konnte (Abb. 7). Das war für jedweden Töpfer eine einfache Aufgabe. Erforderlich war eine Produktion in großen Mengen und zu geringen Kosten – ein Massenprodukt. Diese Röhren besaßen keinen Boden, waren also an beiden Enden offen (Abb. 6, 7). Der konstruktive Gedanke bestand nun darin, aus mehreren so geformter Hohlziegel einen Bogen zusammenzustecken und aus der Addition so gefügter Bögen die gewünschten Gewölbeflächen (Abb. 8) herzustellen.

Der Bauvorgang lässt sich summarisch wie folgt beschreiben: Der Maurer nahm eine Röhre in die Hand, schöpfte mit ihr, wie mit einem Löffel, aus einer Portion von unmittelbar vorher vorbereitetem Gipsmörtel eine kleine Portion, so dass sich das Innere mit Mörtel füllte (Abb. 6d und 8-1) und steckte diese Röhre mit ihrer Zylinderöffnung über den «Flaschenhals» einer in ihrer vorbestimmten Bogenposition zuvor versetzten Röhre. Der schnell abbindende Gipsmörtel erlaubte es, die Röhren, Stück um Stück, ohne jede Unterstützung in frei auskragenden Bogensegmenten zum Scheitel hin aufzumauern. Am Scheitel angekommen, wurden die beiden letzten Röhren der hier aufeinander treffenden zwei Bogensegmente mit ihren jeweils flaschenhalsförmigen Enden von beiden Seiten her in den zylindrischen Körper der Scheitelröhre eingeführt.⁹ Das war möglich, weil die Scheitelröhre, anders als die Standardröhren, keine Verengung zu einem Flaschenhals an einem der Enden besaß, sondern an beiden Enden im vollen Querschnitt ihres zylindrischen Körpers offen war. Die zylindrischen Scheitelröhren waren die einzigen Sonderstücke

Abb. 7 ►

1–8 Herstellung einer Wölbröhre.

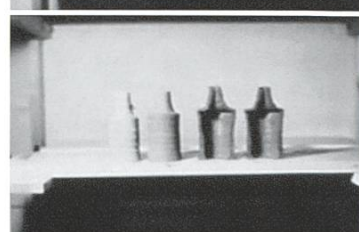
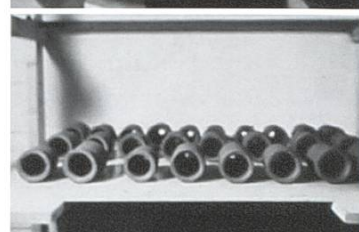
bei dieser Standardbauweise. Allerdings wurden sie nicht eigens als separate Werkstücke angefertigt. Vielmehr wurden sie ad hoc hergestellt, nämlich dann, wenn es galt, einen Bogen zu schließen. In diesem Moment nahm der Maurer eine Standardröhre und trennte ihr mit einer Zange einfach den Hals ab.

Der Maurer arbeitete in einem Arbeitsvorgang an mehreren benachbarten Bogensegmenten zur gleichen Zeit (Abb. 8-4). Das beschleunigte den Bauvorgang. Dabei wurden die Fugen der benachbarten Röhren zweier Bogensegmente ebenfalls mit Gipsmörtel verfüllt. Auf diese Weise wurden die Bogensegmente während ihrer Ausführung seitlich miteinander verbunden. Jede Röhre innerhalb der versetzten Bogensegmente erhielt neben dem Halt entlang der Bogenlinie ihres Steckverbundes, zusätzlich noch einen seitlichen Halt mit der Röhre des benachbarten Bogensegmentes. Das verstärkte die selbsttragende Fähigkeit der Bogensegmente und erlaubte ihren Bauvortrieb in freier Auskragung der heranwachsenden Teile des Tragwerkgefüges. Dieser zusätzliche, seitliche Halt (Abb. 8-2, 8-3) hatte später auch große Bedeutung für die Tragfähigkeit der fertig gestellten Tragwerke. Diese konnten nämlich, ähnlich modernen Schalentragwerken, Kräfte nicht nur in der Bogenlinie ihres Profils aufnehmen, sondern auch quer zur Krümmung der Gewölbeflächen. Das verlieh diesen keramischen Tragwerken eine überraschend hohe Belastbarkeit. Das muß die Baumeister dazu eingeladen haben, zu experimentieren, die Grenzen der Belastbarkeit auszuloten und neuartige Gewölbeformen auszuprobieren.

Die Ausführung von herkömmlichen Gewölbeformen

Nach diesem Verfahren und ohne jede Veränderung des keramischen Standardbauteils entdeckten die antiken Maurer im Verlauf des 3. Jahrhunderts n.Chr. Schritt um Schritt die handwerklichen Griffe, um jede in dieser Zeit gebräuchliche Gewölbeform herzustellen: das Tonnengewölbe¹⁰, das Kreuzgratgewölbe¹¹, das Kloostergewölbe, die Halbkuppel und die Kuppel (Abb. 8 und 9). Nach Fertigstellung der Gewölbe wurden die Tonröhrentragwerke als so genannte «verlorene Schalungen» am Bau belassen. Sie waren gemauerte Gefüge, die nicht wieder verwendet werden konnten. Am Bau belassen eigneten sie sich dagegen bestens als Putzträger bei der Innenausstattung der Räume. Sie verschwanden dabei unter Putz.

Mit dieser Bauweise war das Ziel erreicht, Schalungstragwerke gänzlich ohne Holz zu errichten. Jene Krise des Holz mangels, die den Anstoß für diese Entwicklung gegeben hatte, war überwunden.



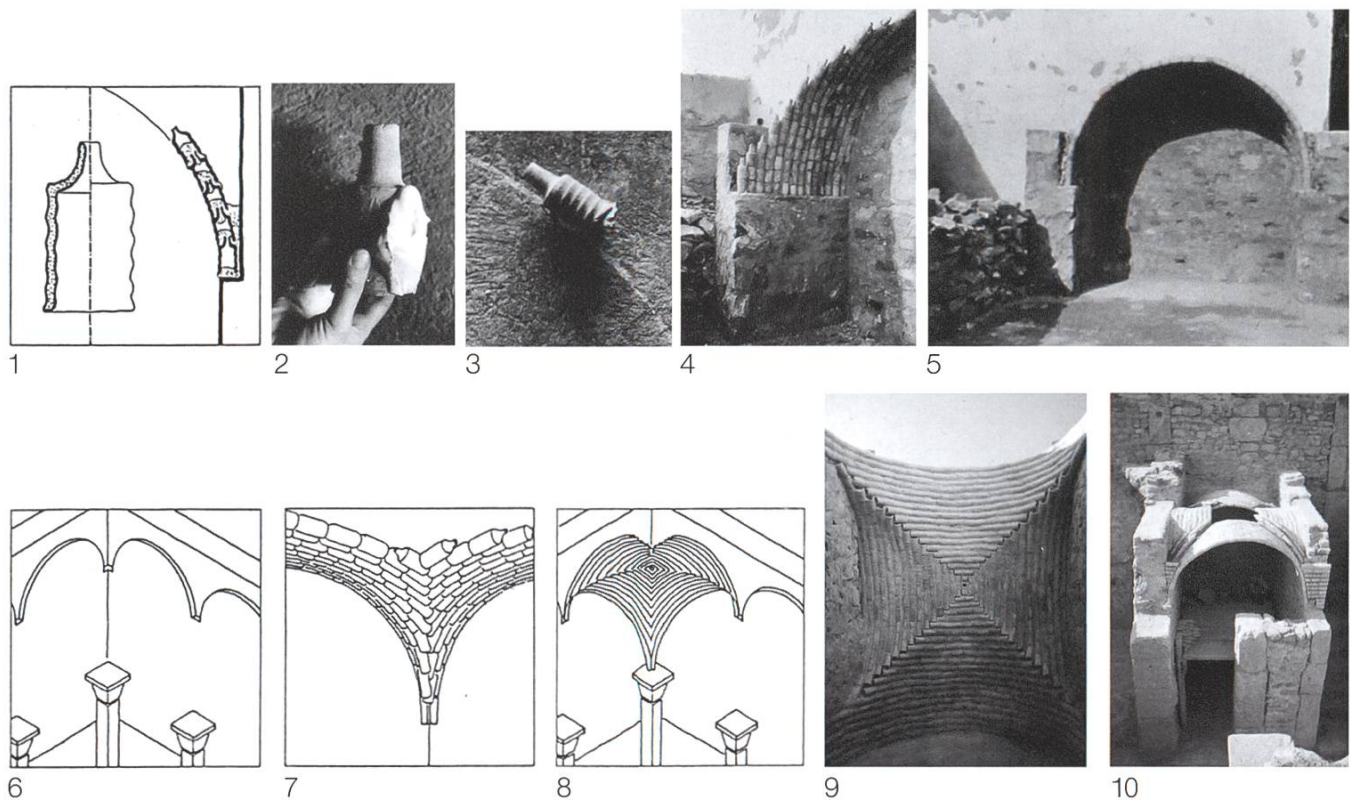


Abb. 8

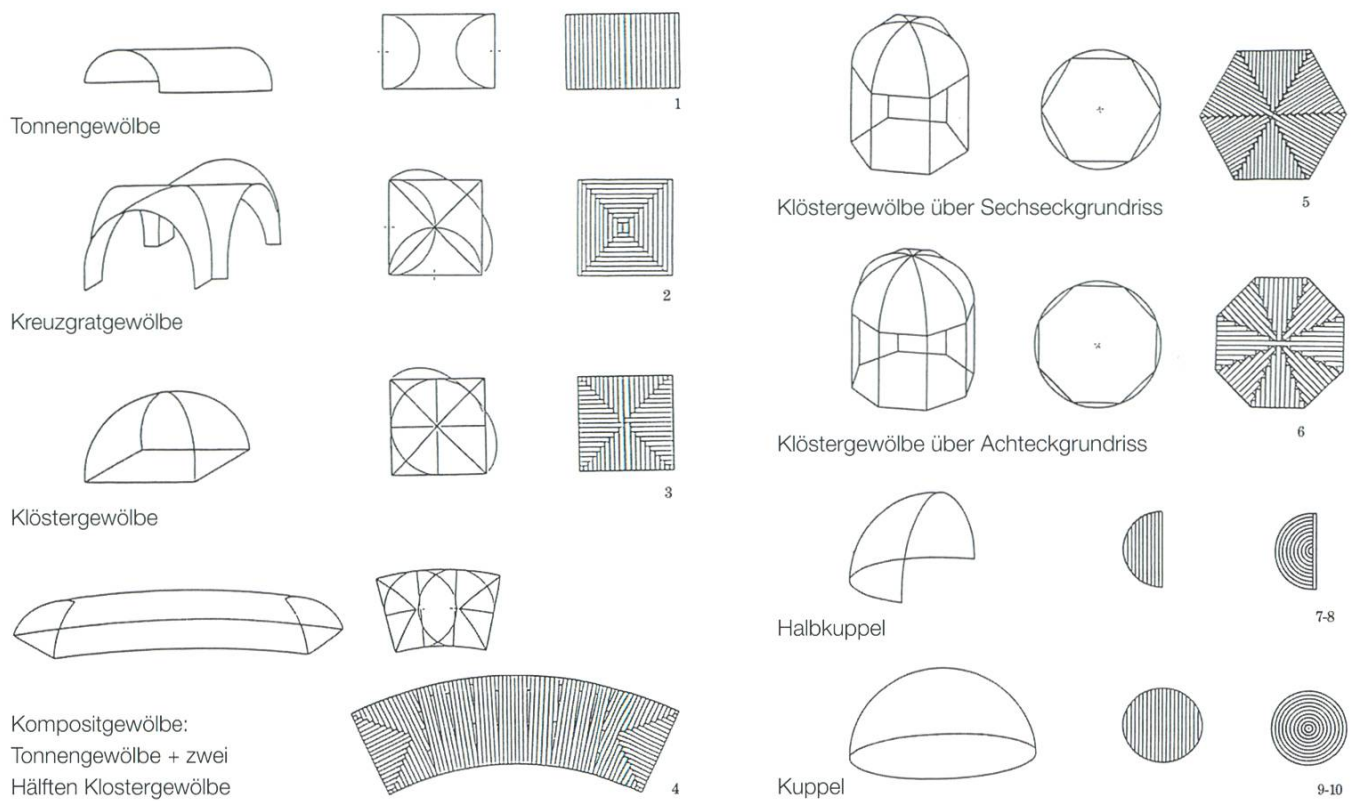
- 1) Systemdarstellung Wölb-
röhre und Bogensegment.
- 2) Wölb-
röhre mit Aussenmörtel.
- 3) Wölb-
röhre mit Aussenmörtel
an Wand haftend.
- 4) Rekonstruktion Tonnenge-
wölbe, linke Bogensegmente
in Ausführung.
- 5) Bau eines Kreuzgratgewöl-
bes aus Wölb-
röhren.
- 6) Ausbildung des Wandgefü-
ges mit Schildbögen als
Gewölbeaufleger.
- 7) Bau eines Kreuzgratgewöl-
bes aus Wölb-
röhren,
Ausbildung der Grate.
- 8) Bau eines Kreuzgratgewöl-
bes aus Wölb-
röhren, das
fertig gestellte Tragwerk.
- 9) Rekonstruktion eines
Kreuzgratgewölbes aus
Wölb-
röhren, das fertig
gestellte Tragwerk von unten.
- 10) Rekonstruktion eines
Kreuzgratgewölbes aus
Wölb-
röhren, Außenansicht
kurz vor der Fertigstellung.

Diese so modern anmutende Konstruktionsidee brachte noch weitere, dieser Bauweise immanente Qualitäten mit sich, die über das ursprüngliche Ziel der Einsparung von Bauholz weit hinausreichten und welche die Baumeister im Verlauf der Zeit nach und nach entdeckten. Diese «Entdeckungsreise» wurde geradezu angeregt durch die Tatsache, dass die bauhandwerkliche Technik zur Ausführung der Tonröhrentragwerke besonders einfach zu erlernen war. Noch so komplizierte Gewölbeformen konnten mit der einmal erlernten Fertigkeit in einfacher Weise ausgeführt werden. Das bildete wohl einen ständigen Anreiz, nach neuen baukonstruktiven und gestalterischen Möglichkeiten zu suchen. Diese Möglichkeiten wurden von den Bauleuten mit wachsender Erfahrung nach und nach entdeckt und genutzt.

Die Entwicklung von neuen Gewölbeformen und Tragwerksstrukturen

Die hohe statische Belastbarkeit der Röhrengefüge und die Möglichkeit, bei einfachster Handhabung der Bausteine auch Tragwerke von besonders komplizierter räumlicher Gestalt ausführen zu können, bildete offensichtlich die Grundlage und die Anregung für die Entwicklung gänzlich neuer Gewölbeformen und Tragwerksstrukturen.

Das geschah in zwei Schritten: In einem ersten Entwicklungsschritt schufen die römischen Baumeister als gänzlich neuen



Gewölbetypus: das «Nordafrikanische Trompengewölbe». Die Erfindung dieser Gewölbeform bot die folgenreiche Möglichkeit, über Räumen von rechteckigem oder quadratischem Grundriss Halbkuppeln oder Kuppeln auszuführen (Abb. 9 und 10).¹² Stereometrische Grundlage dieses neuen Gewölbetypus ist die Verschmelzung von mehreren Kuppelsegmenten unterschiedlicher Größe zu einem kompositen Gesamttragwerk (Abb. 9–12). Über den Ecken des Raumes übernehmen die kleineren Kuppelsegmente, welche die Form einer halben Hängekuppel besitzen, die Aufgabe, das über der Mitte des Raumes angeordnete größere Kuppelsegment zu stützen und gemeinsam mit diesem ein komposites Gesamttragwerk zu bilden. Die Kuppelsegmente über den Ecken übernehmen dabei die Funktion von Trompen. Unser Vorschlag, diese Gewölbetragwerke als «Nordafrikanische Trompengewölbe» zu bezeichnen, hat seinen Grund darin, dass die Trompen bei diesen Tragwerken, anders als im persischen und byzantinischen Osten, integraler Bestandteil der Gewölbestruktur selbst sind. Dieser Typus innerhalb der römischen Architektur wurde bislang nur in Nordafrika nachgewiesen und das erstmals durch unsere Untersuchungen.¹³ So haben wir in Tunesien und hier in Carthage (Karthago), Chemtou (Simitthus) und Dougga (Thugga) bislang eine Gruppe von fünf Trompengewölben identifizieren können. Das bedeutendste Beispiel dieser Gruppe ist die spätantike unterirdische Anlage Kobbat Bent el Rey in

Abb. 9
Gewölbe und Kuppeln,
konventionelle Formen,
2. Jh. n.Chr., Übersicht.

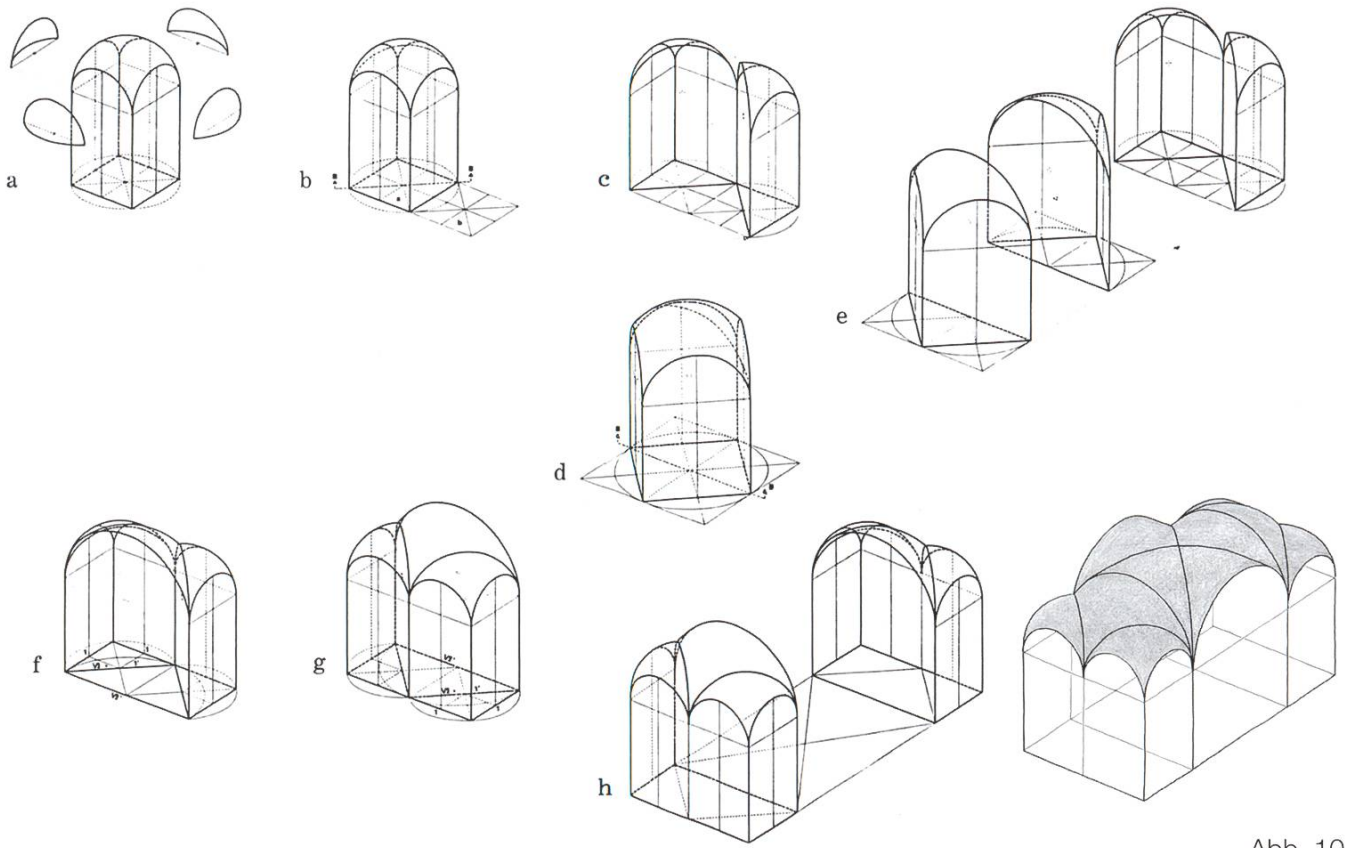
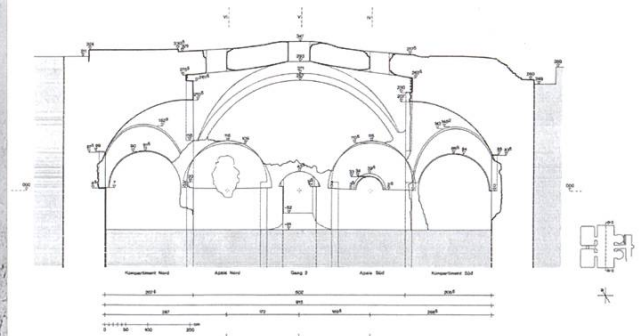
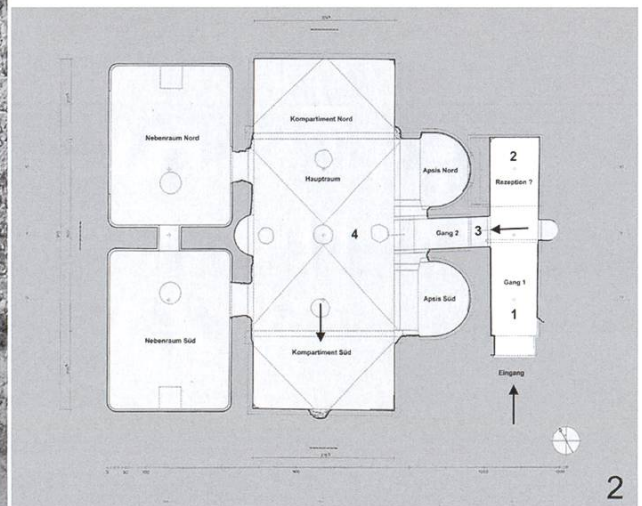


Abb. 10

Abb. 11



3



2

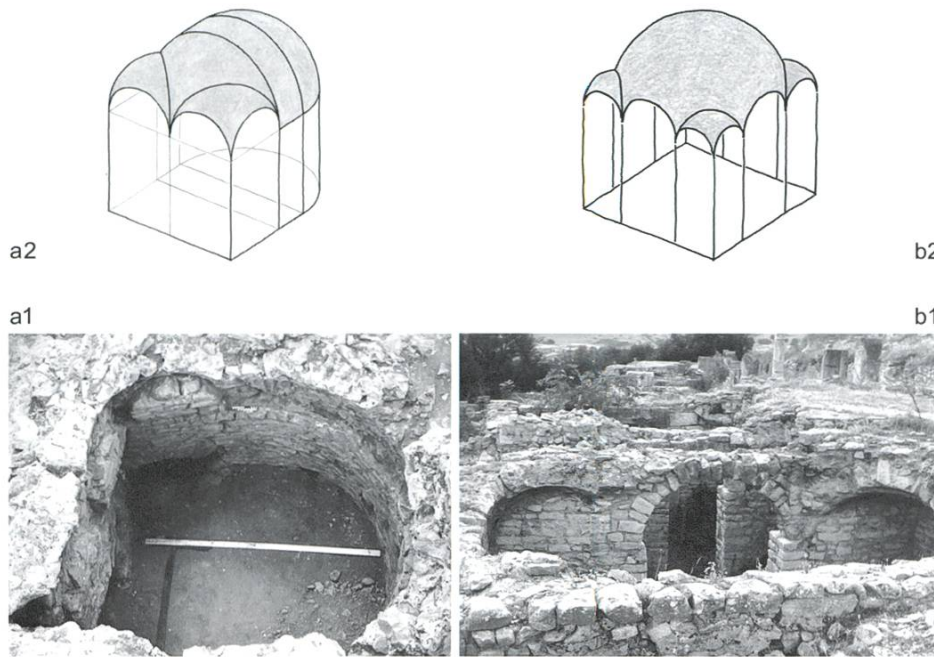


Abb. 12

a1) Chemtou, Tunesien, Forum. Wassertechnischer Raum, Trompengewölbe, Rekonstruktion S. Storz.

a2) Chemtou, Tunesien, Forum. Wassertechnischer Raum, Baubefund Trompengewölbe.

b1) Dougga, Tunesien, Raumgruppe neben Thermen der Zyklopen. Trompenkuppel, Rekonstruktion S. Storz.

b2) Dougga, Tunesien, Raumgruppe neben Thermen der Zyklopen. Baubefund Trompenkuppel.

Carthage (Abb. 11), deren Errichtung in die Jahre 320–340 n. Chr. datiert werden konnte.¹⁴ Wir gehen davon aus, dass in Zukunft weitere Beispiele dieses neuartigen Gewölbetypus nachgewiesen werden können.

Das «Nordafrikanische Trompengewölbe» konnten wir bisher in mehreren Ausführungsvarianten erfassen. Das besondere Merkmal der Räume mit solchen Gewölben ist der starke Kontrast zwischen Grundrissen einfacher Geometrie und einer Raumüberdeckung von hoher Plastizität. Eine neue Architektur des Innenraumes wurde so geschaffen. Wie weit ihre Verbreitung reichte, bleibt noch zu untersuchen.

◀ Abb. 10

Stereometrische Genese von Hängekuppel und Trompengewölbe am Beispiel Kobbat Bent el Rey, Carthage, Tunesien.

◀ Abb. 11

Carthage (Karthago), Tunesien, Kobbat Bent el Rey:

- 1) Hauptraum, Blick zum Kompartiment Süd, Baubefund
- 2) Grundriss.
- 3) Hauptraum, Längsschnitt Nord-Süd.

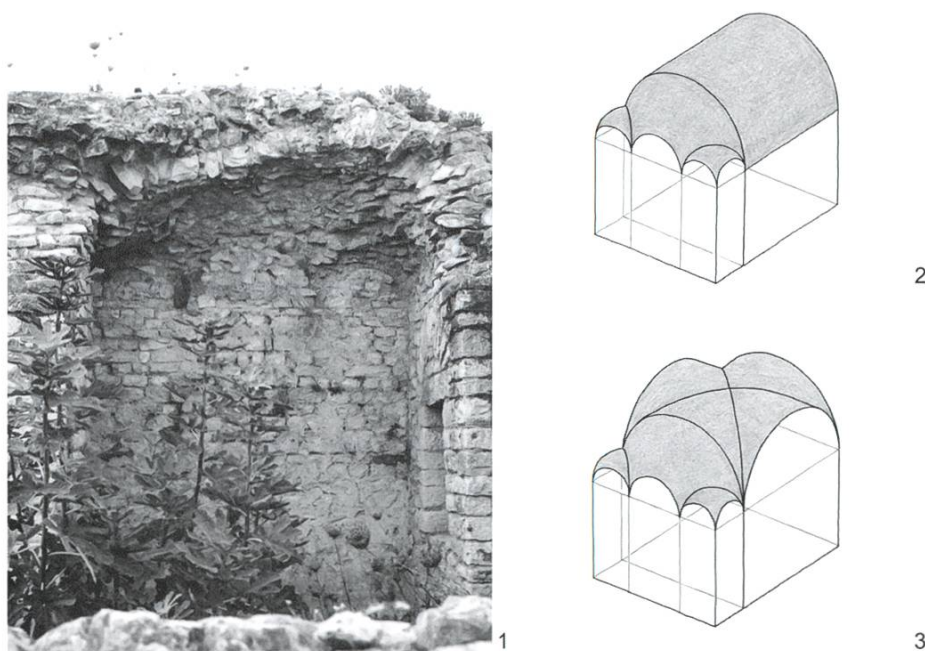
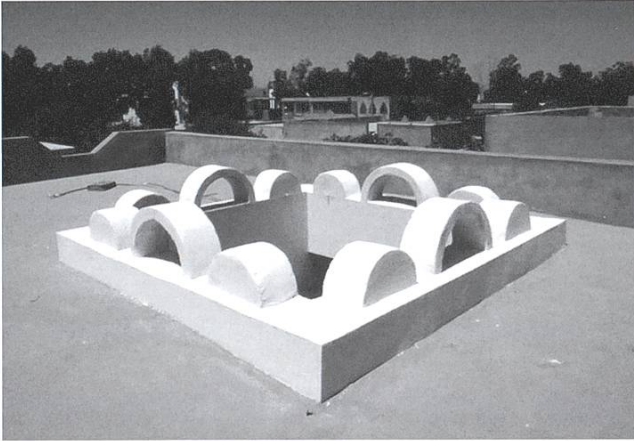


Abb. 13

Dougga, Tunesien, Maison du canard et des saisons:

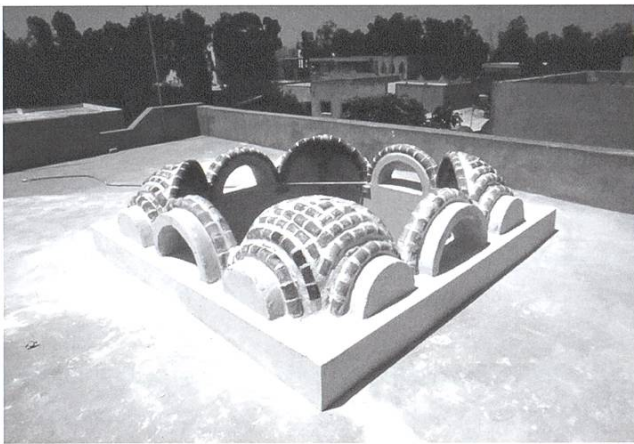
- 1) Baubefund Trompengewölbe.
- 2) Trompengewölbe, Variante mit Tonnengewölbe, Rekonstruktion S. Storz.
- 3) Trompengewölbe, Variante mit Kreuzgratgewölbe, Rekonstruktion S. Storz.



1



2



3



4

Abb. 14

Taieb Mehiri (Tunis - Carthage)
Tunesien, Wohnhaus Taoufik
Sassi. Rekonstruktion des
Bauvorgangs einer achtsei-
tigen Hängekuppel über vier
Trompen aus Wölbröhren.

1) Wandgefüge mit vorge-
mauerten Wand- bzw.
Schildbögen als Auflager des
Röhrentragwerkes.

2) Die fertig gestellte
Trompenkuppel, Außenan-
sicht.

3) Wandgefüge mit den vier
ausgeführten Trompen in den
Ecken und den acht
Röhrenbögen als Auflager für
die achtseitige Hängekuppel.

4) Trompenkuppel im
Bauvorgang, die fertig gestell-
ten vier Trompen und die
untere Zone der achtseitigen
Hängekuppel.

Unser experimenteller Nachbau einer achtseitigen Hängekuppel über vier Trompen, der dem eingehenden Studium aller hier erforderlichen Ausführungsschritte diente und den Nachweis erbrachte, dass selbst ein stereometrisch so kompliziertes Gefüge freihand und in selbsttragender Bauweise ausgeführt werden konnte, zeigt die strukturelle Schönheit dieser Gewölbeformen (Abb. 14 und 15).¹⁵

Im Verlauf unserer Untersuchungen sind wir zu der Überzeugung gelangt, dass die vielseitigen handwerklichen, statischen und baukonstruktiven Vorzüge der Tonröhrenbauweise den Anstoß zur Entwicklung des «Nordafrikanischen Trompengewölbes» gegeben haben muss, und dass es sich dabei um eine eigenständige Entwicklung der römischen Provinz Africa Proconsularis handelt und nicht um eine Übernahme aus dem persischen, beziehungsweise dem späteren byzantinischen Osten.¹⁶

Ein zweiter, ebenfalls sehr folgenreicher Schritt in der Fortentwicklung dieser Bautechnik ist in der frühchristlichen Architektur des späten 4., vor allem aber des 5. und 6. Jahrhunderts n.Chr. in

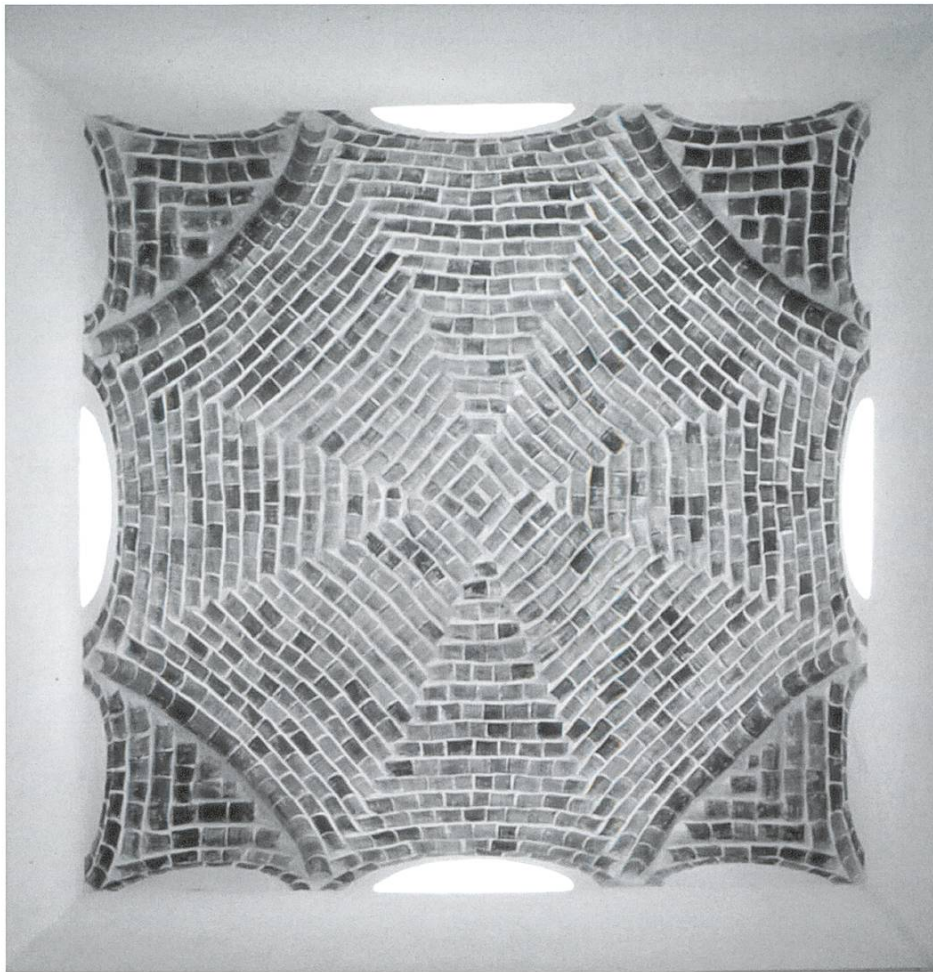
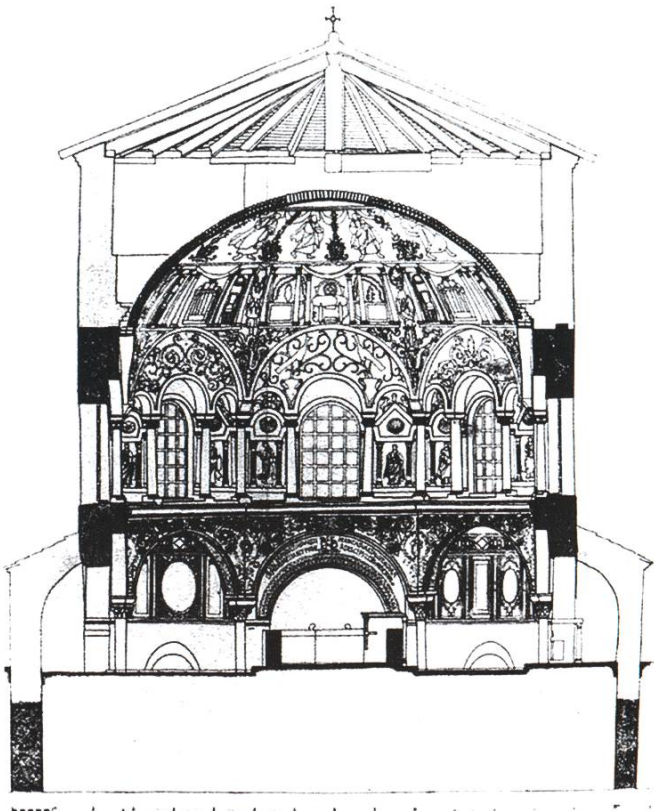


Abb. 15

Taieb Mehiri (Tunis - Carthage)
Tunesien, Wohnhaus Taoufik
Sassi. Trompenkuppel aus
einer achtseitigen Hängekuppel
über vier Trompen aus
Wölbröhren. Das fertig
gestellte Gewölbetragwerk,
Unteransicht.

Italien und Nordafrika zu beobachten. Offensichtlich hatten die antiken Baumeister weitere Vorzüge der Tonröhrenbauweise erkannt. Die baukonstruktive Qualität dieser Schalungstragwerke ging weit über den beschränkten Nutzen einer Hilfskonstruktion zur Ausführung von Gewölben aus *Opus caementicium* hinaus. Sie waren ja ihrerseits bereits echte Gewölbetragwerke im vollen Sinne der statischen Definition. Dieser Vorzug wurde genutzt. In einer großen Zahl von Sakralbauten jener Zeit wurden die Tonröhrengewölbe nun nicht mehr als Schalungstragwerke eingesetzt, also als Hilfskonstruktionen von befristetem Nutzen, sondern als echte Gewölbe.

Die Baumeister hatten erkannt, dass sie auf den Einsatz des schweren *Opus caementicium*s gänzlich verzichten und die gewünschten Gewölbe (in der Mehrzahl Kuppeln und Halbkuppeln) aus Tonröhren errichten konnten. Die Tonröhrengewölbe übten mit ihrem unvergleichlich viel geringeren Gewicht einen bedeutend geringeren Horizontalschub auf die Auflagerwände aus. Das brachte den Vorteil mit sich, dass die tragenden Wände dieser Gewölbe mit sehr viel geringeren Querschnitten bemessen werden konnten. Das bedeutete eine beträchtliche Kostenersparnis.



1



2

Abb. 16

Ravenna, Baptisterium der Kathedrale. Kuppel Mitte 5. Jh. n.Chr.:

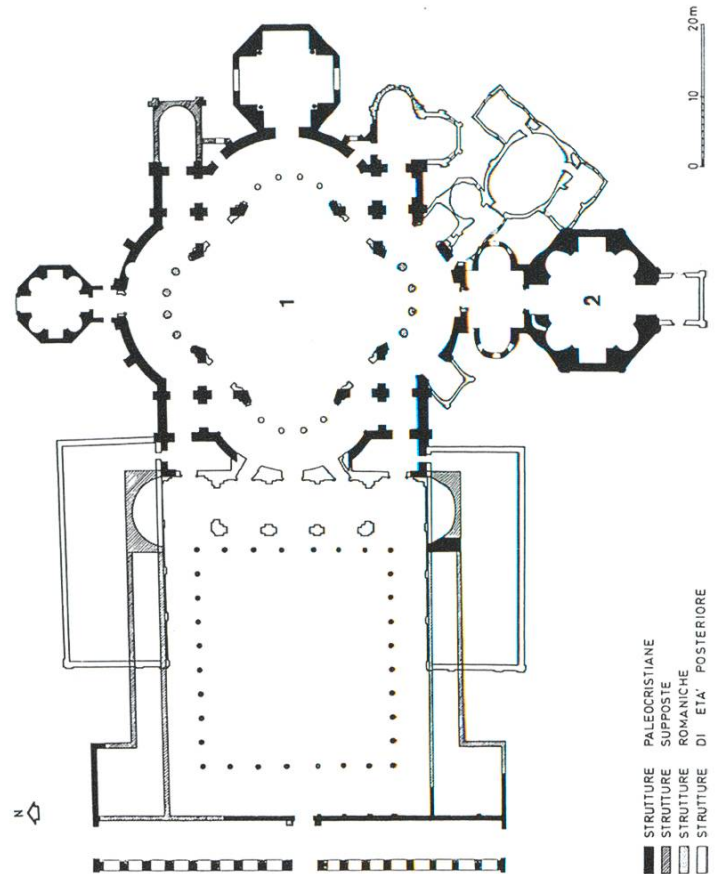
1) Querschnitt mit später eingezogener Kuppel aus Wölbröhren. Schnittzeichnung aus Deichmann 1974, II 1.

2) Kuppelkalotte aus Wölbröhren, Aussenaufsicht. Foto aus Publikation.

Gleichzeitig eröffneten sich neue ästhetische Gestaltungsmöglichkeiten. Es wurde nun möglich, das tragende Wandgefüge mit einem ungleich höheren Anteil an Fensteröffnungen auszubilden. Die aufgehende Wandstruktur erfuhr dadurch eine transparentere Gestaltung mit einer gesteigerten Lichtdurchflutung. Auch auf diese Weise eröffnete die Verwendung der Tonröhrengewölbe den Weg zu neuartigen Raumstrukturen.

Räume, über denen ein Tonröhrentragwerk unter Verzicht auf das *Opus caementicium* als echtes Gewölbe eingesetzt wurde, benötigten allerdings als Witterungsschutz ein konventionelles Dach aus Balken und Dachziegeln. Diese Schutzdächer waren notwendig, weil der Gipsmörtel der Tonröhrengewölbe, trotz seiner großen Bindekraft besonders empfindlich gegen Feuchtigkeit ist, also gegen Regen keine dauerhafte Widerstandsfähigkeit besitzt.

Stellvertretend für die große Zahl der frühchristlichen Basiliken und Baptisterien, welche diesen Entwicklungsschritt in Nordafrika und in Italien bezeugen, seien hier aus Ravenna S. Vitale (521–547 n.Chr.) und das Baptisterium der Kathedrale (Mitte 5. Jh. n.Chr.) genannt (Abb. 16) und aus Rom die Memorialkirche



2

S. Stefano Rotondo (468–483 n.Chr.).¹⁷ Ein besonders interessantes Beispiel ist unserer Auffassung nach der Zentralbau von San Lorenzo in Mailand (Ende 4.–Anf. 5. Jh. n.Chr.), dessen ursprünglich frühchristliche Einwölbung leider nicht mehr existiert. Sie konnte bislang auch noch nicht eindeutig geklärt werden. Der von W. E. Kleinbauer bekräftigte und mit einer Zeichnung veranschaulichte Vorschlag von G. Cherici, über dem Zentralraum von San Lorenzo ein Kreuzgratgewölbe zu rekonstruieren, erscheint aus mehreren Gründen wenig überzeugend, unter anderem wegen der Grundriss- und Wandstruktur dieses Bauwerkes.¹⁸ Aufgrund von Tonröhrenbefunden in diesem Kirchenkomplex und ausgehend von der besonderen Struktur des aufgehenden Baugesüges halten wir die Überlegung für bedenkenswert, ob dieser Zentralbau nicht ehemals mit einer oktogonalen Trompenkuppel aus Tonröhren eingewölbt gewesen sein könnte (Abb. 17 und 18).¹⁹ Gemäß der frühchristlichen Verwendungsweise wäre diese Tonröhrenkuppel ohne *Opus caementicium* ausgeführt worden und hätte mit einem herkömmlichen Holzbalken-Ziegeldach gegen Witterung geschützt werden müssen. Sollte sich dieser Rekonstruktionsvorschlag bestätigen lassen, so verbindet sich

Abb. 17

Milano, San Lorenzo, Ende 4. bis Anf. 5. Jh. n.Chr.:

- 1) Luftaufnahme.
- 2) Grundriss des Kirchenkomplexes.

mit ihm die Überlegung, ob der in Nordafrika entwickelte Typus des Nordafrikanischen Trompengewölbes nicht mit der Tonröhrenbautechnik nach Italien importiert worden sein könnte. Dieser Frage nachzugehen, scheint eine lohnende Aufgabe.

Zusammenfassend ist anzumerken, dass es wohl wenige bauhistorische Fragestellungen gibt, bei deren Untersuchung man in vergleichbarer Weise feststellen kann, wie aus der prekären Lage eines Baustoffmangels (Holz) für die Ausführung benötigter Bauhilfskonstruktionen (Schalungswerke) schließlich eine bautechnische Lösung gefunden wurde, die weit über die Behebung der ursprünglichen Mangelsituation hinaus ging. Und offenkundig ist zugleich, dass die immanenten baukonstruktiven Möglichkeiten dieser Bauweise in mehrfacher Hinsicht den direkten Anstoß für die Entwicklung neuer Gewölbe- und Raumformen gegeben haben.

Résumé

De l'Antiquité romaine jusqu'à la fin de l'Antiquité l'*opus caementicium* permettait de couvrir des espaces aux portées croissantes et des formes spatiales au plan de sol de plus en plus différenciés. Le manque de bois de construction qui se fit remarquer déjà très tôt en Afrique du Nord exigeait cependant de nouvelles techniques de voûture. L'invention du coffrage avec des tuyaux céramiques résolut le problème. Probablement les coupoles des fours de potier donnèrent l'impulsion décisive pour utiliser les tubes eux-mêmes comme matériau de voûte.

Les tubes utilisés dans l'Antiquité sont en céramique et ont la forme d'une bouteille sans fond. Le corps cylindrique forme sur le bord supérieur un épaulement prononcé et un col étroit. Cela permet d'emboîter les tuyaux et de les rassembler en forme de segments d'arc. Pour l'assemblage on se servait d'un mortier de plâtre qui durcissait rapidement. Les constructions en voûtes minces et légères se caractérisent par une capacité de charge statique élevée.

Non seulement ce procédé rendait possible la construction des segments d'arc porte-à-faux mais également il ouvrait de nouvelles possibilités de construire et de former des voûtes. Le résultat fut la « Voûte de trompe nord-africaine ». On pouvait ainsi recouvrir des espaces rectangulaires ou carrés avec des coupoles ou semi-coupoles. Par la fusion de divers segments de coupoles on peut développer des systèmes porteurs complexes.

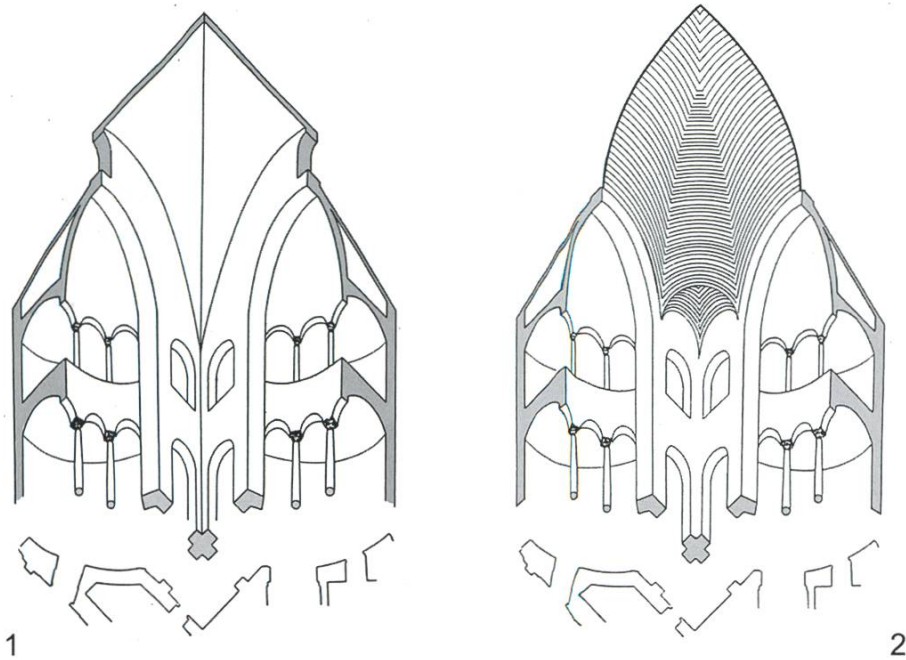


Abb. 18

Milano, San Lorenzo, Ende 4. bis Anf. 5. Jh. n.Chr.:

1) Rekonstruktion Kreuzgratgewölbe nach Kleinbauer.

2) Rekonstruktion Trompenkuppel nach Storz.

3) Milano, Capella di S. Aquilino im Kirchenkomplex S. Lorenzo (2. H. 4. Jh. n.Chr.). Funde von Tonröhren.



L'auteur a construit des modèles d'après de telles voûtes et, au moyen de ses expériences, il a prouvé que même des structures stéréométriques complexes peuvent être réalisées par une méthode autoportante de construction. Cette constatation encourage à repenser les reconstructions de voûtes antiques, comme par exemple San Lorenzo à Milan.

traduction Helena Zsutty

Autor

Dr.-Ing. Sebastian Storz, geboren 1942 in Berlin, ist Architekt und Bauhistoriker. 1962–1971 Studium der Architektur in Berlin und Karlsruhe, 1972–1978 Spezialisierung als Bauhistoriker beim Deutschen Archäologischen Institut in Rom. 1986 Promotion an der Universität Karlsruhe. Bis 1995 Forschungen in Italien und Nordafrika. 1996–2005 Geschäftsführender Direktor des «Weiterbildungszentrums für Denkmalpflege und Altbauinstandsetzung e. V.» (WBZ), Villa Salzburg in Dresden. 2006 Gründung des «Forum für Baukultur e.V.» (FfB), seither Vorstandsvorsitzender und Leitung aller Aktivitäten.

Forum für Baukultur e.V.

Das Forum für Baukultur e.V. wurde 2006 in Dresden mit dem Anliegen gegründet, Bürgern aller Alterstufen (Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen) sowie Fachleuten durch jeweils geeignete Veranstaltungen Kenntnisse auf dem Gebiet der architekturgeschichtlichen Allgemeinbildung zu vermitteln. Ziel ist es einerseits, den Bürgern über die Begegnung mit der Baugeschichte ihres Lebensraumes ein lokales und zugleich europäisches Bewusstsein zu vermitteln und andererseits den Dialog aller Beteiligten am täglichen Baugeschehen zu verbessern.

Initiatoren sind Dipl.-Ing. (FH) Susanne Reichle, Dipl.-Ing. (FH) Ingrid Storz und Dr.-Ing. Sebastian Storz (www.forum-fuer-baukultur.de).

Dr.-Ing. Sebastian Storz
Bauhistoriker
Forum für Baukultur e.V.
Wiener Str. 54
D-01219 Dresden

Abbildungsnachweise

Abb. 1b: aus Choisy 1873.
Abb. 5: Zeichnung Weinrich, nach Vorlage S. Storz.
Abb. 6a: Foto A. Olivier.
Abb. 16-1, 16-2: aus Deichman 1974, II 1.
Abb. 18-1: Kleinbauer aus Storz 1991-1, Abb. 2.
Alle übrigen Fotos und Zeichnungen vom Verfasser.

Literaturverzeichnis S. Storz (Auszug)

Choisy 1873: Auguste Choisy, *L'art de bâtir chez les Romains*, Paris 1873.
Kleinbauer 1976: Walter Eugene Kleinbauer, 'Aedita in turribus': *the Superstructure of the Early Christian Church of Lorenzo in Milan*. In: *Gesta* 15, no.1/2 (1976), S. 1–9.
Müller-Wiener 1982: Wolfgang Müller-Wiener, *Byzanz und die angrenzenden Kulturkreise*. In: 16. Int. Byzantinistenkongreß, Wien 1981, *JbÖByz* 32.2, 1982, S. 575–609.

- Storz 1983: Albéric Olivier, Sebastian Storz, *Une expérience de restauration: réalisation d'une voûte d'arête sur coffrage perdu en tubes de terre cuite à Bulla Regia*. In: Recherches archéologiques franco-tunisiennes à Bulla Regia I, Miscellanea I, Rom 1983, S. 111–127.
- Storz 1984-1: Sebastian Storz, *Untersuchungen zu einer römischen Gewölbbautechnik*. In: Ausstellungskatalog «Deutsche Akademie Villa Massimo in Rom 1983–1984», Rom 1984.
- Storz 1984-2: Sebastian Storz, *Zur Funktion von keramischen Wölbröhren im römischen und frühchristlichen Gewölbebau*. Architectura 14.2, 1984, S. 89–105.
- Storz 1985: Sebastian Storz, *Römische und frühchristliche Gewölbeträgerwerke aus Tonröhren*. In: Ausstellungskatalog «Studiengäste und Ehrengäste der Villa Massimo, Rom, von 1982 bis 1984», Kassel 1985.
- Storz 1986: Sebastian Storz, *Die Rekonstruktion des Schalungstragwerkes für die Trompengewölbe der Kobbat Bent el Rey in Karthago (Tunesien)*. In: Koldewey-Gesellschaft, Bericht über die 34. Tagung, Venedig 1986, Karlsruhe 1988, S. 26–30.
- Storz 1991-1: Sebastian Storz, *Das antike Bauverfahren von Gewölbeträgerwerken aus Tonröhren. Vorschlag zur Rekonstruktion einer Trompenkuppel aus Tonröhren für die frühchristliche Basilika San Lorenzo in Mailand*. In: A. Hoffmann u.a., Bautechnik der Antike, Int. Kolloquium Berlin 1990, Diskussionen zur archäologischen Bauforschung 5, Mainz 1991, S. 224–237.
- Storz 1991-2: Sebastian Storz, *La Kobbat Bent el Rey. Rapport préliminaire sur les recherches effectuées de 1978 à 1989*. CEDAC 12, 1991, S. 41–60.
- Storz 1992: Sebastian Storz, *La Kobbat Bent el Rey*. In: A. Ennabli (Hrsg.), *Pour sauver Carthage*, Paris 1992, S. 155–160.
- Storz 1993: Sebastian Storz, *Baugeschichtlich-stratigraphische Untersuchungen zur Kobbat Bent el Rey in Karthago*. In: M. Mackensen, Die spätantiken Sigillata- und Lampentöpfereien von el Mahrine, Münchner Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte, Bd. 50, München 1993, S. 641–649.
- Storz 1994-1: Sebastian Storz, *La tecnica della costruzione delle volte con tubi fittili a S. Stefano Rotondo a Roma*. In: XLI Corso di cultura sull'arte Ravennate e Bizantina, Ravenna 1994, S. 669–693.
- Storz 1994-2: Sebastian Storz, *Tonröhren im antiken Gewölbebau*. DAI-Rom, Sonderschriften 10, 1994.
- Storz 1994-3: Sebastian Storz, *Die Errichtung einer von vier Trompen gestützten achtseitigen Hängekuppel aus Tonröhren. Ein Beitrag zur experimentellen Bauforschung*. In: Festschrift Hugo Brandenburg, Boreas 17, Münster 1994, S. 237–246, Tafeln 23–24.
- Storz 1997: Sebastian Storz, *La tecnica edilizia romana e paleocristiana delle volte e cupole a tubi fittili*. In: C. Conforti, Lo specchio del cielo. Forme, significati, tecniche e funzioni della cupola dal Pantheon al Novecento, Milano 1997, S. 23–41.
- Storz 2014: Sebastian Storz, *Das antike Bauverfahren von Gewölbeträgerwerken aus Tonröhren. Vom Tonnengewölbe bis zur Entwicklung des «Nordafrikanischen Trompengewölbes»*, in: K. Schröck und D. Wendland, Traces of Making. Entwurfsprinzipien von spätgotischen Gewölben, Petersberg 2014, S. 88–101.

Anmerkungen

1 Das Bauverfahren von Gewölbe-tragwerken aus Tonröhren war Gegenstand einer langjährigen Untersuchung des Verfassers. Die Ergebnisse wurden in zahlreichen Zwischenberichten und in einigen Gesamtdarstellungen bereits veröffentlicht. Die wesentlichen Merkmale der Bauweise sollen hier in einer Zusammenfassung des heute erreichten Erkenntnisstandes noch einmal kurz beschrieben und vorgestellt werden. Ausführliche Auskünfte zu allen Einzelfragen bieten die Veröffentlichungen des Autors, die in der beigefügten Publikationsliste benannt sind, insbesondere Storz 1994-2 und Storz 1997.

2 Susanne Reichle sei herzlich gedankt für ihre sachkundige redaktionelle Mitwirkung an diesem Bericht.

3 Siehe Storz 1994-2, Tafel 31.2 Bulla Regia, Tunesien, Thermen der Iulia Memmia. Gewölbe aus *Opus caementicium*, Abdruck der Schalung aus Brettern.

4 Siehe Storz 1994-2, Tafel 31.3, Chemtou, Tunesien, Wasserspeicher des städtischen Aquäduktes, Gewölbe aus *Opus caementicium*, Abdruck der Schalung aus Brettern und Schilfrohmatten.

5 Zu den historischen Bezeichnungen dieser Gewölbeziegel und ihrer heutigen Benennung (Tonröhre, Wölbröhre) siehe Storz 1994-2, S. 26f.

6 Theorie des Verfassers mit ausführlichen Überlegungen, siehe Storz 1994-2, S. 18 ff. und 66 ff.

7 Ausführliche Verbreitungsliste bei Storz 1994-2, S. 72 ff.

8 Ausführliche Beschreibung mit Abbildungen bei Storz 1994-2, S. 39 ff.

9 Zur Beschreibung der Kobbat Bent el Rey siehe Storz 1994a, zur Datierung siehe Storz 1993, S. 643.

10 Rekonstruktion Tonnengewölbe 1973 von S. Storz in Chemtou (Tunesien), siehe Storz 1994-2, S. 8–9.

11 Rekonstruktion Kreuzgratgewölbe 1976 von A. Olivier und S. Storz in Bulla Regia (Tunesien), siehe Storz 1983.

12 Zur Gruppe der bisher nachgewiesenen Beispiele von Nordafrikanischen Trompengewölben siehe Storz 1991-1, S. 227 ff., Anm. 11.

13 Zur ausführlichen Definition des Nordafrikanischen Trompengewölbes siehe Storz 1991-1, S. 228, Anm. 13, 14.

14 Zur Beschreibung der Kobbat Bent el Rey siehe Storz 1994-2, zur Datierung siehe Storz 1993, S. 643.

15 Zur Beschreibung dieses experimentellen Bauvorhabens siehe Storz 1994-3.

15 Zur Entstehung der persischen Trompenkuppel und ihrer Verbreitung über den byzantinischen Osten siehe Müller-Wiener 1982, S. 580 ff., bes. Anm. 16.

17 Storz 1994-1, S. 669–693, Vorschlag zur Rekonstruktion eines Muldengewölbes jeweils über den vier Diagonalsektoren und der Hinweis auf die Möglichkeit der Rekonstruktion einer Kuppel über dem Zentrum S. 692–693.

18 Kleinbauer 1976, S. 1 ff.

19 Storz 1991-1, S. 224–237, Ausführliche Begründung des Rekonstruktionsvorschlags.