

## Historische Gründungen – Ein Überblick

Die Fundamente von Bauwerken sind gewissermaßen der erste konkret faßbare Ausdruck der Entwurfsidee, die Übertragung der Geometrie der Grundrißfigur auf den Bauplatz, grundlegend im wahrsten Sinne des Wortes. Oft aber stellen die Grundmauern das einzige dar, was uns noch von der Architektur geblieben ist, müssen wir aus ihnen zu lesen lernen, wie die eigentliche Raumschöpfung aussah oder die Eindeckung konstruiert war. Die *Polyeuktoskirche* aus dem 6. Jahrhundert n. Chr. im Palast der Julia Anicia zu *Konstantinopel* ist dafür ein instruktives Beispiel (37). So mancher Domneubau in der Gotik hinterließ von der Vorgängerkirche nur die Grundmauern, die bei Grabungen zutage treten können, wie in *Regensburg* (53). Mitunter zeugen die Fundamente von Planänderungen, eine ursprünglich beabsichtigte Holzdeckung wurde beim Erreichen der Mauerkronen durch eine Rippenwölbung ersetzt, wie in *St. Etienne in Caen* (28). Manchmal traf man die notwendigen Vorbereitungen zur Einwölbung durch Wandvorlagen, ließ jene erst in einem späteren Bauabschnitt folgen, wie in *Maria Laach* (52). Oder man baute höher und stockte noch während der Bauarbeiten auf, wie an der *Kathedrale in Reims* (28).

Doch im allgemeinen blieb die Beziehung zwischen Unterbau und Überbau im Laufe der Architekturgeschichte aus guten Gründen relativ konstant. Die Ökonomie von Planung und Verwendung der Ressourcen sowie die enge Korrelation zwischen Erdreich und Fundament waren Kriterien, die nur selten mißachtet wurden. Darüber hinaus ist lehrreich, wie die Geologie, also das Vorkommen bestimmter Böden und Baumaterialien, die Entwicklung von Bauweisen determinierte und die Realisierung von Vorstellungen förderte oder hemmte.

Die Fundamente von Gebäuden haben zu allen Zeiten eine über ihre technisch-konstruktive Funktion hinausgehende, symbolische Bedeutung gehabt, wie noch heute das Versenken des *Grundsteins* eine Zeremonie ist, deren Bildkraft über den praktischen Effekt weit hinausweist. Ein jüngst ergrabenes Beispiel ist die Südost-Ecke des Fundaments der romanischen *Klosterkirche Disibodenberg*, in die der reliefierte Stein eines römischen Grabbaues in signifikanter Weise an einer besonderen Stelle integriert wurde (51). Ein anderes, die *byzantinische Stadtmauer* der antiken Stadt *Limyra*, in deren Fundament die Kultstatue des unmittelbar danebenstehenden Tempels rituell bestattet wurde, um die magische Kraft dieser heidnischen Figur zu bannen und als Abwehrzauber die Schutzfunktion der Stadtmauer zu verstärken (15).

Frühere Zeiten hatten in die Grundsteine Urkunden eingeschlossen, manche Legenden, die sich um Brückenpfeiler ranken, wissen gar von eingemauerten Menschen. Dies ist ein Nachklang aus den Frühkulturen mit ihren *Bauopfern* und *Fundamentbeigaben*, die von Arbeits- und Kultgeräten bis zu Opfertieren reichen konnten und gelegentlich bei Ausgrabungen ans Tageslicht kommen.

### Orientalische Hochkulturen

Die Form, Art und Tiefe der Fundamente hing außer von der Beschaffenheit des Baugrundes immer von der Art der darüber stehenden Mauer ab. Einfache Lehmziegelhäuser in den ariden Zonen der Erde gleichen sich seit dem Neolithi-

kum, entbehren oft jeglichen Fundamentes. In den frühen orientalischen Hochkulturen mit ihrem Siedlungsraum in den Flußtäälern und ihrer Architektur aus luftgetrockneten Lehmziegeln genügte häufig, selbst für Paläste, flache Fundamentierungen in Form niedriger Steinsokkel aus Bruchsteinen oder Quadern, wie etwa auf dem frühbronzezeitlichen *Norşun Tepe* in Ostanatolien. Der Untergrund besteht bei diesen Siedlungshügeln aus älteren, kompakten Wohnschichten aus demselben Lehmziegelmaterial wie die darauf folgenden Mauern. Die vorhergehenden Gebäude waren als Ruinen durch Witterung oder vom Menschen eingeebnet worden (6).

Aus dem vierten Jahrtausend Zentralanatoliens stammt bereits eine bemerkenswerte Unterkonstruktion in Form eines Holzrostes innerhalb einer Steinpackung, auf der 50 cm hohe Steinfundamente die Lehmziegelmauern trugen (*Beyçesultan; Açe mhiyü k*). Es gibt auch reine Lehmziegel-fundamente in der Baugrube für die Mauer aus demselben Material, wobei der Steinsokkel in Bodennähe die Regel blieb (*Arslan Taş*). Auf dem chalkolithischen Siedlungshügel von *Alaç a Hüyü k* entdeckte man eine regelrechte



Abb. 1. *Limyra, Süd-Türkei. Grabung Ptolemaion. Weibliche Kolossalstatue des hellenistischen Tempels über dem Fundament der byzantinischen Stadtmauer als Apotropaion eingebaut (Foto: Verf.).*

Fundamentplatte unter dem gesamten Gebäude aus extra großen Lehmziegeln, auf der die Bruchsteinsockel für die Lehmziegelmauern ruhten (1).

Die Sockel hatten den praktischen Grund des Spritzwasserschutzes. Dies führte in der Folge zu architektonisch anspruchsvolleren Orthostatensockeln, die mit Reliefs verziert sein konnten (*Zençirli, Alaça Hüyük*) und letztlich zur architektonischen Großform der Terrasse, wie sie am prächtigsten etwa in der Palastanlage von *Persepolis* im iranischen Hochland gestaltet worden ist. In Mesopotamien hatte dieses Emporheben der Gebäude mittels hoher Lehmziegelterrassen eine lange Tradition, wie die großen Palast- und Tempelanlagen von *Assur, Ninive* oder *Babylon* belegen können (2, 3).

Doch selbst die gewaltigen Lehmziegelberge der Zikkurats, der Tempelpyramiden Mesopotamiens, waren nicht besonders tief gegründet, im wesentlichen auf eine Lage Flußkiesel an der Sohle der höchstens 1 m tiefen Baugrube (*Uruk*).

Die größten Bauten des Altertums, die Pyramiden **Ägyptens** aus dem Alten Reich, waren im Kern als massive Blöcke aus einzelnen, nur mit Tonmörtel verbundenen Kalksteinquadern gebaut, um die schichtenweise abwechselnd grobes und fein gefügtes Mauerwerk gelegt wurde. Die Gründung erfolgte immer auf Fels, wie er unter dem Sand bald anstand. Auf die gereinigte und grob vorgeebene Fläche (Seitenlänge bei der Cheopspyramide immerhin 200 m !) wurden die Blöcke direkt verlegt, dann dem Feinnivellement entsprechend abgearbeitet. Den Ägyptern gelangen dabei in Anbetracht der zur Verfügung stehenden Geräte schiere Wunder an Präzision: Bei leichter Bombierung der Mitte hat man an der *Cheopspyramide* zwischen zwei diagonal gegenüberliegenden Ecken nur 2 cm Niveauunterschied feststellen können. Bei der älteren *Pyramide des Djoser* sind die auf die Fundamentierung aus drei Scharen folgenden Schichten hingegen in schrägen Lagen angeordnet und stehen senkrecht zur Vorderfläche (4).

Bei den Tempeln der Ägypter bemerkt man eine erstaunliche Nachlässigkeit im Fundamentieren, trotzdem haben sie mehr als 3000 Jahre überstanden, so daß den Fehlern nicht zuviel Gewicht beigemessen werden sollte; sie passen nur nicht in das Bild von der Perfektion der ägyptischen Baumeister. Im allgemeinen wurde bei den Tempelfundamenten ein Graben ausgehoben, kaum breiter als die geplante Mauer, der an der Sohle mit einer relativ dünnen Sandschicht bestreut und seitlich durch Ziegelmauern aus luftgetrockneten Nilschlammziegeln vor dem Einsturz gesichert wurde. In ihm wurden die eigentlichen Fundamente errichtet, bei den wichtigeren Mauern aus Stein, sonst aus Ziegel, der verbliebene Zwischenraum wurde wieder mit Sand verfüllt. Je nach Boden und zu tragendem Gewicht sind die Fundamente unterschiedlich tief gelegt. Die große Umfassungsmauer des Grabtempels von *Medinet Habu* für Ramses III. (um 1175 v. Chr.) ist bei einer Dicke von 10,5 m und einer Höhe von 18 m aus Ziegelsteinen 3 m tief in den Lehm Boden gegründet, die anderen Mauern 2 m. Andererseits ist bei den riesigen Stützen der großen Säulenhalle von *Karnak* das Fundament kaum breiter als die Säulen selbst und besteht nur aus kleinen Steinen, bei manchen Mauern aus einer heterogenen Mischung wiederverwendeter Baublöcke und Säulen abgerissener Bauten. Erst die großen Tempelanlagen der Ptolemäerzeit, wie in *Edfu* oder *Esne*,

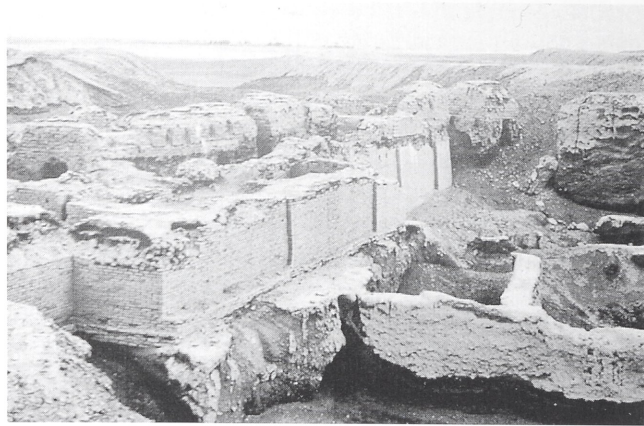


Abb. 2. Ur, Irak. Mausoleum der Könige der III. Dynastie. Ausgrabung und Erosion haben die flachgegründeten Fundamente der massiven Lehmziegelmauern im älteren Siedlungsschutt freigelegt, um 2100 v. Chr. (nach Lloyd, Abb. 35).



Abb. 3. Sakkara, Ägypten. Stufenpyramide des Djoser mit außen schräg gelegten Steinschichten auf dem geglätteten Felsplateau, ca. 2700 v. Chr. (Foto: Verf.).

stehen auf regelrechten Plattformen aus bis zu zehn Lagen sorgfältig bearbeiteter Steinplatten. Wir müssen uns bei dieser Bautradition in Ägypten immer vergegenwärtigen, daß wir hier einen Zeitraum von mehr als drei Jahrtausenden überblicken (5).

### Vorrömische Antike

Die Literatur zur antiken Gründungstechnik ist spärlicher als man glauben möchte: einzelne Spezialuntersuchungen und da und dort verstreut aufzufindende Aufsätze zu einzelnen Gründungsmethoden. Die diesbezüglichen Kapitel in den Handbüchern sind erstaunlich dürftig. Dieser „sekundären Architektur“ wendete man erst im Zusammenhang mit Bauschäden größeres Augenmerk zu.

Im antiken Bauwesen wurden für Fundamente des bevorzugten Quadermauerwerks, aber auch für Bruchstein- und Polygonalmauerwerk im anstehenden Felsen dieser entsprechend geglättet (großflächig) oder ein flacher Fundamentgraben ausgemeißelt; vielfach treppte man bei Bauten in Hanglage das Auflager der Steine mehrfach horizontal ab, so bei den Terrassenhäusern oder der *lykischen Stadt-*



Abb. 4. Limyra, Süd-Türkei. Kyklopische, zweischalige Burgmauer der lykischen Burg auf abgetrepptem Felsgrund, 5./4. Jh. v. Chr. (Foto: Verf.).

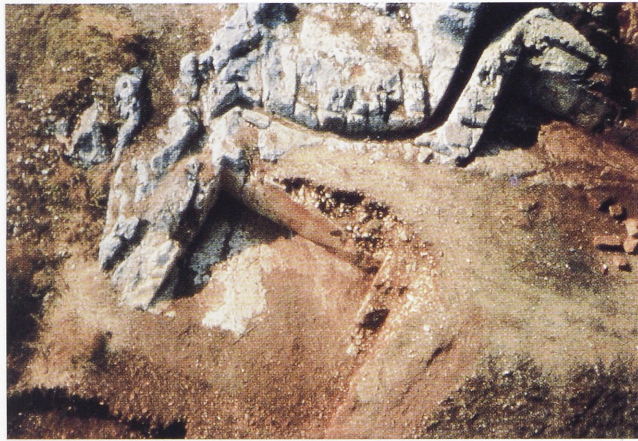


Abb. 5. Limyra, Süd-Türkei. Lykische Wohnsiedlung. Häuser teilweise aus dem Fels gemeißelt mit Kanälen zum Fernhalten des Hangwassers, 5./4. Jh. v. Chr. (Foto: Grabung Limyra, Arch.Inst.Univ.Wien).

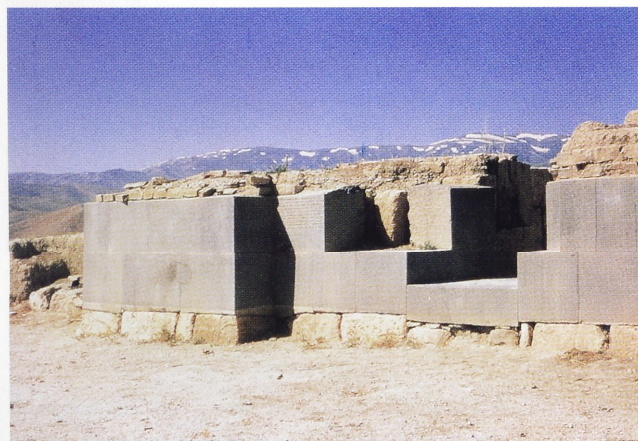


Abb. 6. Cavuştepe bei Van, Ost-Türkei. Urartäischer Palast, Orthostatensockel aus poliertem Basalt auf Felsbettung mit Ausgleichsschicht, 9. Jh. v. Chr. (Foto: Verf.).

mauer von Limyra. Diese durch das Gewicht der Steine recht dauerhafte Konstruktion konnte nur durch äußere Einwirkung, wie Erdbeben oder absichtliche Demolierung bis hin zum Steinraub, in ihrer Statik zerstört werden. Denn Oberflächen- und Sickerwasser wurde zum Teil mit ausgeklügelten Entwässerungsrinnen von den Mauern ferngehalten, wie das Beispiel der *Hanghäuser in Limyra* aus dem 4. Jahrhundert v. Chr. illustriert. Allerdings ist auch an den Breitenmaßen der Felsbettungen abzulesen, daß diese oft nur als Sockel gedient haben konnten und das Aufgehende ein Fachwerk gewesen sein muß (13).

Die Kunst, dem Felsgrund Bauwerke aufzusetzen, wurde schon sehr früh in den anatolischen Hochkulturen der **Hethiter** und **Urartäer** perfektioniert (*Cavuştepe*). Die muldenförmige Felsbettung der Büyükkale-Mauern in *Boğazköy* sollte ein Verschieben und Abrutschen der Blöcke verhindern. Besonders die Urartäer, deren Blütezeit zwischen dem 9. und 6. Jahrhundert v. Chr. liegt, sind für ihre hochragenden Burgen und Bergstädte berühmt (*Vankale*). Darin standen ihnen nur wenig später die **Lykier** in nichts nach, deren Siedlungsgebiet im Südwesten der heutigen Türkei lag. So finden wir hier schon aus dem Fels geschlagene Abschnittsgräben (*Trysa*) oder geböschte Mauern an der Bergseite (*Limyra*). Hinzu trat eine Vorliebe für die Verwendung besonders großer, nur grob behauener Blöcke.

In **klassischer und hellenistischer Zeit** verfeinerte sich die Mauertechnik zur Schönheit des bossierten Quaderwerks, dessen geradezu natürliches Herauswachsen aus dem Felsgrund immer wieder begeistern kann, wie an dem Kleinkastell auf dem *Beymelek Dağ* über der Bucht von Demre. Als Lehrbeispiel für die Sicherheit der Fundamentierung und des Mauergefüges mag die Gebäudeecke eines *Wehrgehöfts* von der Hochebene *über dem antiken Myra* dienen (14). Die ausgedehnten und vielbewunderten Stadtmauerringe und Festungsmauern in Griechenland wie etwa in *Messene* oder *Aigosthena* zeigen, daß man jedes Gelände zu meistern verstand (10, 12). Ein ähnliches Erscheinungsbild des Mauerwerks bietet die mitteleuropäische Burgenbaukunst erst wieder im 13. Jahrhundert n. Chr., als der Buckelquader nach den Römern erneut in Mode kam (*Breitenstein*).

Stand Fels nicht als Baugrund an, so griff man in der Antike zu einer der vier möglichen Arten der Fundamentierung: massive Fundamentplatten, Streifenfundamente, Punktfundamente und Rostfundamente.

Massiv durchgeschichtete Fundamente sind nicht allzu häufig, in einzelnen Fällen waren sie durch schlechte Bodenverhältnisse bedingt wie bei der *Tholos in Delphi* oder dem *Ptolemaion in Limyra*, dessen vertikal verdübelte und horizontal verklammerte Quaderscharen von jeweils 50 cm Höhe einen kompakten Block bildeten. Dennoch führte stetige Unterwaschung durch mehrere Quellen seit der Spätantike in Verbindung mit mindestens zwei größeren Erdbeben zu einem allmählichen Absinken über eine Ecke um 18 cm. Wahrscheinlich spielte auch die hohe Bodenpressung beim verstärkten Austreten dieser Karstquellen um den Fundamentblock eine Rolle (16).

Gelegentlich hat man unregelmäßige Felsplattformen durch Ausgleichsschichten geebnet, wobei die weniger belasteten Innenflächen mit minder harten Porosblöcken gefüllt wurden, wie bei der 240 x 105 m großen Terrasse des *Mausoleions von Halikarnass* oder beim kleinen *Athenatempel in Knidos*.



Abb. 7. Beymelek Dağ bei Demre, Süd-Türkei. Bossiertes Quaderwerk des Bergkastells direkt auf den Kalkfels gebettet, 4. Jh. v. Chr. (Foto: Verf.).

Die häufigste Form waren jedoch die Streifen- und Punktfundamente. Interessant ist, daß schon in der Antike Breite und Tiefe der Fundamentgräben in den Baukontrakten vorgeschrieben waren (*Eleusis*), vielfach mit dem Hinweis, daß bis auf den Fels zu graben sei. Für Säulenreihen wurden meist durchlaufende Fundamentzüge geschaffen (*Xanthos, Tempel B*), es kommen aber auch Punktfundamente vor (*Argos, Heraion*), oft jedoch nur für die innere Säulenstellung, die nicht mehr so stark belastet war (*Sardes, Artemis-tempel*; 7, 8, 12).

Die eingebrachten Fundamentsteine waren anfangs nur roh bearbeitet (*Knidos, Tholos*), seit der klassischen Zeit wurden aber sauber gefügte Quader üblich; für manche Bauten sind sogar die Formate der Quader in den Verträgen vorgeschrieben. Seit den großen Architekturen der griechischen Klassik verfeinerte man die langen Horizontalen durch eine leichte Aufwölbung in der Mitte, die sogenannte Krümmung. Sie beträgt beispielsweise beim *Parthenon* 10,5 cm auf eine Länge von 70 m. Die Krümmung wurde, wie die neuesten Untersuchungen ergaben, sogar schon in der Abarbeitung des Felsplateaus und in den einzelnen Quaderschichten der Fundamentierung vorbereitet.

Auch beim Fundament wurden die Regeln des richtigen Quaderverbandes beachtet, während man aber die Lagerfugen meist sorgfältig ausgeglichen hat, begnügte man sich damit, die Stoßfugen oft nur mit eingeschwemmtem Lehm

zu schließen. Der nach Einbringen der Quader zwischen Grabenwand und Fundament freibleibende Raum wurde mit dem beim Ebnen der Quaderlage anfallenden Steinsplitt und mit lehmiger Erde aufgefüllt, was im Profilschnitt als Baugrube erkennbar bleibt und archäologisch oft wichtiges Datierungsmaterial aus der Bauzeit enthält. Wie aufschlußreich nicht nur für die Art der Fundamentkonstruktion die archäologische Beobachtung der Baugrube sein kann, illustriert das *Hephaisteion in Athen*. Dort hatten die Grabungen einen merkwürdigen Bauablauf enthüllt: Zuerst entstanden außen die Streifen der Ringhallenfundamente auf dem Fels, danach der Fundamentgraben für die Cella; er ist nachträglich aus der Auffüllung von Steinabschlägen ausgehoben worden (17).

Die Rostfundamentierung bestand aus einem rechtwinkligen System sich kreuzender Streifenfundamente, die zusätzlich durch eine vertikale Verschränkung der Quaderschichten gesichert war. Unter dem berühmten *Pergamon-Altar*, einer U-förmigen 37 x 40 m messenden Anlage, wurde eine solche Konstruktion gefunden; sie bot über älteren eingebneten Bauten die notwendige statische Si-



Abb. 8. Knidos, West-Türkei. Tholos. Marmorverkleidung des Kernmauerwerks aus Poros, unter dem Fußgesims des Stylobatpodiums Fundamentschicht und Felsabgleichung aus Bruchstein, 3. Jh. v. Chr. (Foto: Verf.).



Abb. 9. Xanthos, Süd-Türkei. Letoon. Streifen-Fundamente aus Kalksteinquadern von Cella und Ringhalle des ionischen Tempels auf einem Felsrücken im Sumpfgebiet des Xanthos, 4. Jh. v. Chr. (Foto: Verf.).

cherheit für den massiven Überbau. Ähnlich ist die Situation unter dem *Apollontempel in Delphi* am Steilhang der Phädraden (18).

Bei ungünstigen Geländebedingungen, feuchtem oder sandigem Untergrund griff man zu besonderen Lösungen. So wurden die Fundamente überaus groß bemessen und in die Fundamentgrube Asche und Holzkohleschichten eingebracht, wie bei der *Stadtmauer von Olbia* oder beim *Heraion in Samos*, dessen Architekt Theodoros beim Neubau des *Artemis-Tempels* nach *Ephesus* geholt wurde wegen der besonders schwierigen Gründungsprobleme im Sumpf. Hier empfahl er zusätzlich abwechselnde Lagen von Kiesel und Lehm, wie die Grabungen auch erwiesen. Dieser einst als Weltwunder gepriesene Tempel bedeckte die anderthalbfache Fläche des Kölner Domes.

Nicht immer vermochte man aber der Gründungsprobleme Herr zu werden, wie das Beispiel des *Heraion in Samos* lehrt. Der Tempel des 6. Jahrhunderts v. Chr., mit seinen 100 m Länge, 50 m Breite und 12 m Höhe einer der größten, ist wegen ungenügender Fundamentierung in der Schwemmeerde nur eine Generation nach der Fertigstellung zusammengestürzt. Beim Neubau unter Polykrates hat man dann in der Tat solide Arbeit geleistet: Ein völlig neuer Bauplatz wurde ausgesteckt und für die Cellamauern ein Streifen von 4 m Breite und 1 m Tiefe ausgehoben, mit reinem Meersand aufgefüllt und mit einer 20 cm hohen Splittschicht abgedeckt. Erst darauf wurde dann das Fundament verlegt – mit 4 m breiter Sohle und 2,50 m Höhe. Die beiden Mauerflanken sind geböschet (gemäß ihrer statischen Belastung innen steiler als außen!), haben durchgehende Quaderschichten sowie genau gefluchtete Kanten. Bei der Türwand wurde sogar eine Bewegungsfuge vorgesehen. Dennoch scheint auch hier im Laufe der Jahrhunderte die Tragfähigkeit des Untergrundes überschritten worden zu sein, wie heute Setzung und Neigung der Säulenbasen zeigen (18).

Auf dem Stadthügel von *Ilion*, besser bekannt als *Troia*, wurden für die Festigung der Fundamente des *Athenatempels* in den ca. 13 m hohen Schuttschichten des Siedlungshügels mehrere Lagen Sand in die mit Hölzern ausgesteifte Baugrube eingebracht und mit Wasser eingeschlämmt (7). Bei diesem Siedlungshügel läßt sich übrigens die technologische Entwicklung von Böschungsmauern, die hier immer auch Fundament waren, seit dem 3. Jahrtausend von ganz flacher bis zu steiler Böschung gut verfolgen. Eine ausgeklügelte Mauertechnik mit Verzahnung und Versatz sicherte die Standsicherheit, wie die neuesten Detailaufnahmen erweisen. Im süditalienischen *Pästum* fand man unter den Grundmauern der sonst auf Fels gegründeten *Basilika* eine dicke Lage Sand, die wohl wegen der häufigen Erdbeben in dieser Zone eingebracht wurde.

Lockermaterial wie Kieselsteine im Fundamentgraben findet man auch häufig im Alpenraum bei Mauern aus der Römerzeit; sie heißen deshalb *Rieselmauern*, weil die brauchbaren Mauersteine längst ausgeraubt und weiterverwendet wurden und nur mehr die Kiesel übrig geblieben sind. Wahrscheinlich dienten sie einer Verhinderung des Aufsteigens der Bodenfeuchtigkeit, eine Maßnahme übrigens, die auch gelegentlich bei mittelalterlichen Mauern beobachtet wurde.

Als die *Karthager* im 6. Jahrhundert v. Chr. ihre Stadt in der Küstenzone zum Meer hin erweiterten, waren sie gezwungen, im sandigen Grund zu außergewöhnlichen Fundamentierungsmaßnahmen zu greifen. Nach dem Ausheben der

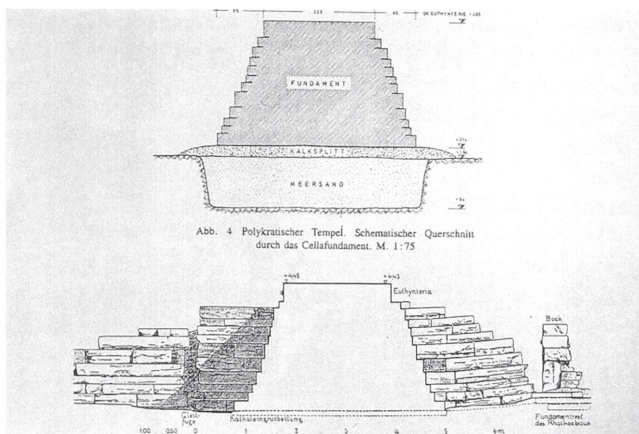


Abb. 10. Samos, Griechenland. Heraion. Schnitt durch das Cellafundament des vierten Tempels im alluvialen Schlick, beg. um 530 v. Chr. unter Polykrates (nach Kienast, Abb. 4 u. 6).



Abb. 11. Karthago, Tunesien. Küstensaum beim ehem. Palais Beylical. Gründung der punischen Seemauer aus 2,5 t schweren Sandsteinquadern, an der Vorderseite Wellenbrecher, an der Rückseite Trennwand einer der mit Stein-Lehm-Packung gefüllten Kammern des Kerns, 5. Jh. v. Chr. (Foto: Verf.).



Abb. 12. Karthago, Tunesien. Byrsahügel. Römische Pisépfiler zur Stabilisierung des bis zu 10 m hohen Zerstörungsschutts und als Substruktion für die Plattform des Forums, Anfang 1. Jh. n. Chr. (Foto: Verf.).

Baugrube für die jeweils 155 m langen *Wohnblocks* mit den 32 x 22 m großen Hauseinheiten wurden diese mit starken Mauern aus riesigen Sandsteinblöcken umgeben, danach die Binnenteilung aus schmäleren Mauerzügen hergestellt, die mit fettem Lehmörtel gebunden waren. Die entstehenden Karrees wurden gleichzeitig mit dem Hochmauern nach jeweils 40–50 cm mit Seesand aufgefüllt. Dabei markiert die Abfolge von Seesand- und Lehmschichten die anwachsenden Bauniveaus. Durch dieses Kammersystem konnten die Fundamente der Binnenmauern in gleichbleibender Stärke von nur 1,5 bis 2 Fuß bis zu 2 m hochgezogen werden und wurde gleichzeitig eine Terrassierung des zum Meer hin abfallenden Geländes erreicht. Interessante Rückschlüsse auf die Organisation dieses großen städtebaulichen Vorhabens sind so aus den Grundmauern zu gewinnen (19).

Bemerkenswert ist auch die Fundamentierung der berühmten *Seemauer*, die zusammen mit der Landmauer als eines der fortifikatorischen Meisterwerke der Epoche galt. Die 5 m starke Mauer war ebenfalls in einem Kammersystem mit einer gestampften Füllung aus zähem Lehm und Steinen errichtet, ihr der Brandung ausgesetzter Sockel war aus besonders großen, bis zu drei Tonnen schweren Blöcken aufgebaut, die paßgenau aneinandergesetzt und mit hydraulischem Mörtel verbunden waren. Zusätzlich waren noch davor Wellenbrecher zum Schutz des Mauerfußes angeordnet. Darüber erhob sich eine strahlend weiß stuckierte Quaderwand bis zu 12 m Höhe, oben mit Zinnen und Schießscharten versehen (19).

## Römische und Byzantinische Epoche

Von *Karthago*, dieser prächtigen Rivalin Roms, lernten die Römer, die sie zunächst dem Erdboden gleichgemacht hatten, einiges an Bautechnik, das sie später weiterentwickelten. Auf der alten punischen Akropolis, der *Byrsa*, legten sie über dem Schutthügel der ehemals bis zu drei- und vierstöckigen Bebauung einen Platz von 220 m im Quadrat an. Diese Terrasse war am Hang durch gewaltige, nischengegliederte *Stützmauern* getragen. Um jedoch die bis zu 9 m hohen Schuttschichten zu stabilisieren und den Erddruck abzufangen, wurden 4 x 4 m große senkrechte Schächte bis auf das punische Straßenniveau abgeteuft, in die *Pfeiler* aus Pisé, also Stampflehm, abwechselnd mit Steinpackung eingebracht wurden, so daß die Terrasse des neuen Capitols mit dem Jupiter-Tempel und einer Basilika, die zu den größten der römischen Welt zählt, gewissermaßen als Platte mit zahlreichen Erdnägeln auf dem Schutt sicher ruhte.

Eine andere Technik der Römer zur Stabilisierung von unsicherem Baugrund bestand in der Anlage von *Erdgewölben*, also gemauerten Tonnengewölben, unter denen das Erdmaterial nicht beseitigt wurde, sondern gewissermaßen festgepackt war. Dieser Konstruktion widmet Vitruv in seinem Werk „De architectura“ im 4. und im 6. Buch ein eigenes Kapitel. Darin erläutert er den unterschiedlichen Einfluß einer trockenen gegenüber einer feuchten Erdfüllung auf solche Kammern sowie die Standsicherheit einer Stützmauer und rät, Strebpfeiler vorzusehen, zu deren Anzahl, Form und Dimensionierung er Angaben macht, die in proportionaler Abhängigkeit von den Maßen der Mauer stehen. Darüber hinaus empfiehlt er ein System von Spannmauern und Mauerbögen, um den Erddruck abzufangen und zu verteilen (21).

Daß diese pragmatischen Werte aus Erfahrung kommen, können unter anderem einige der römischen *Talsperren*

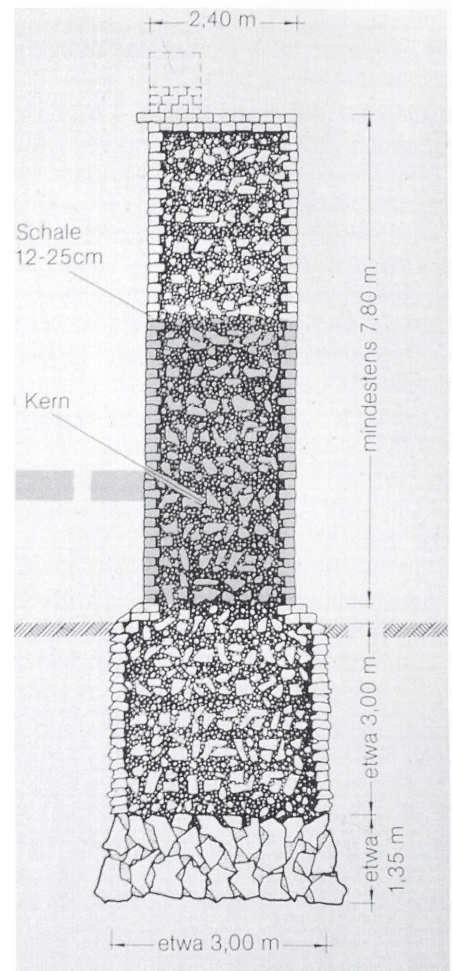


Abb. 13. Köln, Stadtmauer in der Komödienstraße. Schematischer Konstruktionschnitt, Caementiciumkern mit Kleinquaderschale, Fundamentplatte aus Grauwacke und Kalkmörtel im anstehenden Flußkies, um 50 n. Chr. (nach Lamprecht, Bild 165).

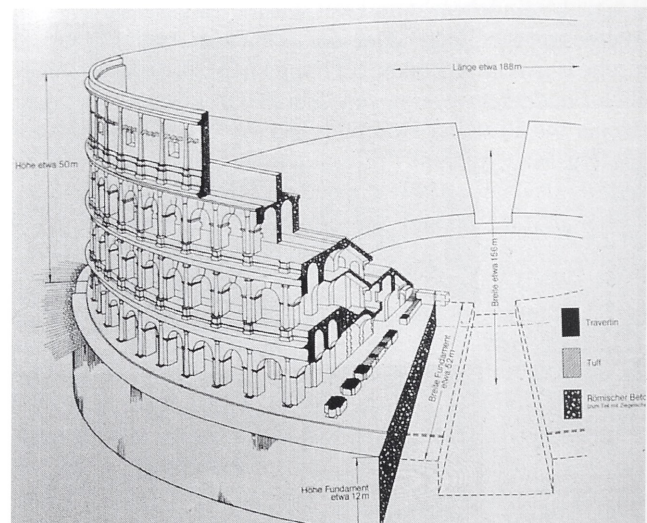


Abb. 14. Rom, Kolosseum. Ringfundamentplatte aus Caementicium (Dicke 12 m, Breite 52 m, Gesamtdurchmesser 188 x 156 m) mit Travertinpfeilern verstärkt, an der Stelle eines künstlichen Sees in der Senke zwischen Palatin, Esquilin und Caelius, beg. 69 n. Chr. (nach Carpano/Lamprecht, Bild 176).

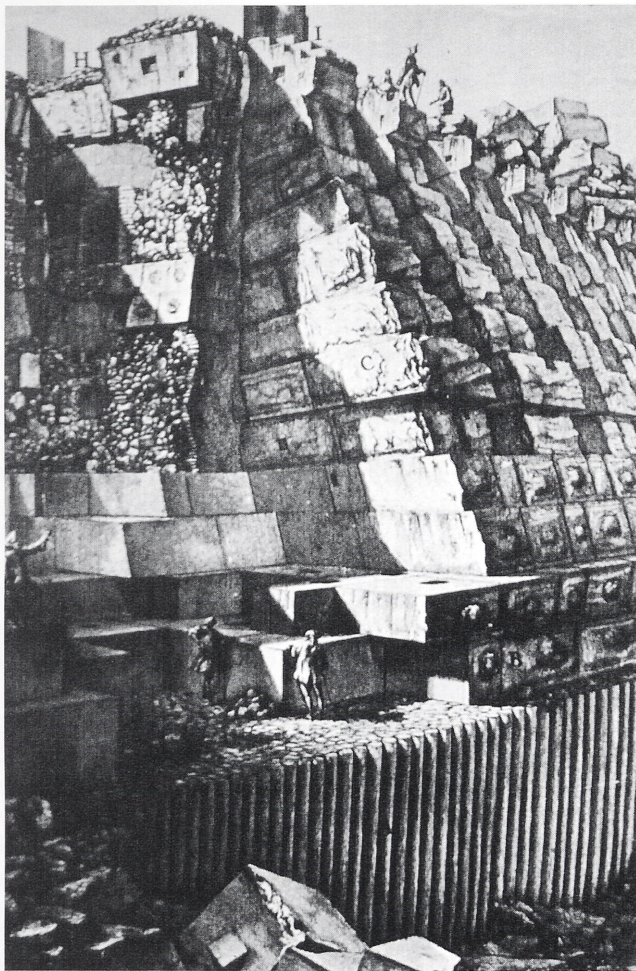


Abb. 15. Rom, Marcellustheater. Pfahlgründung der Quaderfundamente in Ufernähe des Tibers, um 13–11 v. Chr. (Zeichnung von Gianbattista Piranesi, *Antiquità Romane*, 1756).

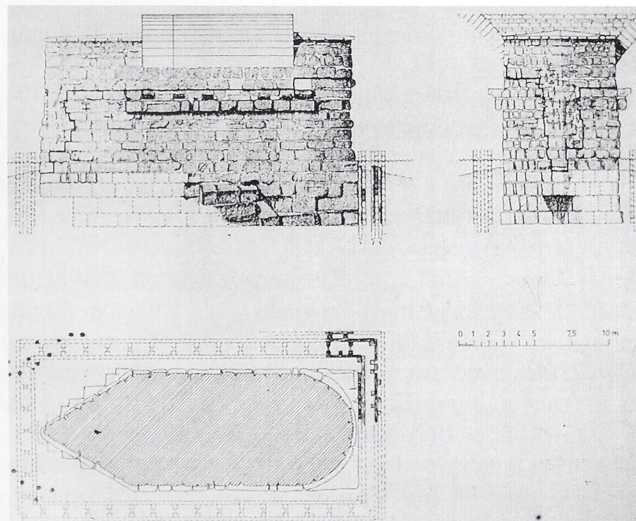


Abb. 16. Trier, Rheinland-Pfalz. Römerbrücke. Unterwassergründung eines der Pfeiler aus Basaltquadern, doppelschaliger Kastenfangdamm mit Abdichtung aus eingestampftem Ton, um 150 n. Chr. (nach Borrmann, Abb. 18).

zeigen, die nach dem Prinzip der Pfeilerstaumauern konstruiert sind und zum Teil noch heute ihren Dienst tun, wie die Staumauern in der Umgebung von *Merida* in Spanien (22). Die Stützmauern beim *Amphitheater von Trier* oder von *Basel* sind Beispiele für diese Maßnahmen gegen Erd- druck (23).

Die entscheidende technologische Neuerung der Römer war die Entdeckung des Pozzolan-Zements, des *caementi- ciums*, Kalkmörtels mit Beimischung von gemahlenem vulkanischem Sand. Das ergab hohe Festigkeit mit hydraulischen Mörtel-eigenschaften (24). Dadurch waren nicht nur rascher Baufortschritt, sondern auch große Bauvolumina und ausgedehnte Unterwasserbauwerke realisierbar, wie der große *Hafen von Ostia*, der Haupthafen Roms, erbaut unter Trajan (25).

Das opus caementicium wurde dabei im Fundamentbereich direkt in die Schalung zusammen mit Steinbrocken geschichtet (nicht gegossen), die Abdrücke und Horizontal- fugen zeigen deutlich die Arbeitsetappen. Gelegentlich wurden solche Fundamente an besonders belasteten Punkten durch Quader verstärkt, häufig auch durchgehende Quader- schichten eingeschossen (26).

Ein schönes Beispiel für Caementicium-Technik ist die Stadtmauer der *Colonia Ulpia Traiana*, der unter Kaiser Trajan zur Kolonie erhobenen heutigen Stadt *Köln*. Der Mörtelkern der aufgehenden Abschnitte ist hier an besonde- ren Stellen mit ornamentalem Ziermauerwerk aus verschie- denen Steinsorten verblendet, sonst waren dicht schließen- de Schalen aus Tuffelli, Kleinquadern oder Ziegel die Regel (24). Die Bauabteilungen des römischen Heeres förderten ohne Frage auch die Entwicklung von straffer Organisation der Baustellen, schnellem Bauablauf und zunächst beson- ders ökonomischen Bauweisen.

Eine spezielle Methode der *Baugrubenverschalung* för- derten die Ausgrabungen in *Karthago* an einer Stelle im inneren Stadtgebiet zutage. Wegen des unsicheren Unter- grounds aus Zerstörungsschutt wurden die schmalen Funda- mentgräben bis zu 4 m tief bis auf die tragfähigen punischen Schichten gegraben. Um ein Nachgeben der senkrechten Grubenwände zu verhindern, wurden diese mit Schilfmatten abgehängt. Die Abdrücke am Caementicium haben sich so gut erhalten, daß sogar die Maße der Matten und ihre Nähte abzunehmen sind.

In den nördlichen Provinzen des Imperium Romanum fin- det man in der Spätzeit oft flüchtig aus Quadern (meist Spolien) gelegte Fundamente, darauf Caementicium-Mau- erwerk, das mit Bruchstein verkleidet war (27).

Durch dieses neue Verfahren war es möglich, richtige *Fun- damentplatten* herzustellen. Eines der eindrucksvollsten Beispiele dieser Art ist die ringförmige, 12 m dicke Funda- mentierung unter dem *Kolosseum in Rom*; auch das *Panthe- on* ruht auf einem solchen 4,5 m starken Caementicium- Ringfundament (29, 30, 31).

Die Methode der Stützmauern wurde zu den „*concamera- ta*“, den durch Gewölbe verbundenen Kompartimenten, vor allem mit Hilfe des opus caementicium verfeinert, wobei die Römer die Vorderseiten solcher Terrassen auch prak- tisch zu nutzen verstanden. Dies zeigen eindrucksvoll eini- ge der in der Umgebung Roms im 1. Jahrhundert v. Chr. entstandene Tempelanlagen wie in *Terracina*, *Tivoli*, *Präne- ste* oder *Brescia* in Oberitalien. Hier ist also eine technisch notwendige Substruktion zu einer künstlerischen Architek- turform entwickelt worden (25, 32).

Vorstufen zu diesen Stützmauer- und Terrassierungsmethoden, die bereits alle gestalterischen Möglichkeiten durchspielen, allerdings immer auf der Grundlage der Quaderbautechnik, gibt es schon im Hellenismus, etwa in *Assos* oder *Pergamon*. Im Zuge der Nutzung der einzelnen Schotten werden diese ausgehöhlt, der Aushöhlung des Terrassenunterbaus aber durch entsprechende Auflast in Form einer langgestreckten Stoa darüber entgegengewirkt. In Pergamon, dieser grandios terrassierten Bergstadt, gibt es interessante Lernprozesse in der Konstruktion der Stützmauern zu beobachten, etwa zweischalige Mauern mit eigener Drainage (da, wie immer, das Wasser der größte Feind war), gegen den Berg gestemmte Exedren, sowie Strebebögen (20, 26).

Die Römer als unbestrittene Lehrmeister der antiken Bautechnik für die Bauleute des Abendlandes schrecken vor nahezu keiner Schwierigkeit zurück, die in der Reichweite ihrer Technologie lag. Als zur Zeit des Antoninus Pius die mittlerweile von den Römern wieder zur glanzvollsten Metropole der nordafrikanischen Provinz aufgebaute Stadt *Karthago* eine Thermenanlage von großstädtischem Zuschnitt plante, wurden drei Insulae, also Wohnblockareale von insgesamt 150 x 300 m ins Meer gebaut. Das 6 m hohe Untergeschoß und die 40 m breite Natatio, das Schwimmbecken, wurden auf eine Plattform gesetzt, die aus opus caementicium bestand, dessen hydraulische Eigenschaften durch die Beimengung von Keramiksplitt erreicht wurden, da in Nordafrika kein vulkanisches Material zur Verfügung stand. Im *Caissonsystem* wurden Kompartimente geschaffen, die über der Wasserlinie mit Gewölben abschlossen. Teile dieser Mauern trotzen noch heute der See. Für den *limes maritimus*, die äußerste Bebauungsgrenze gegen das Meer, mußte zunächst ein Damm geschaffen werden. Dafür beschreibt Vitruv ein Verfahren, bei dem große Blöcke aus Pozzolanazement auf einer Sandunterlage hergestellt und nach zweimonatiger Erhärtungszeit durch Ablassen des Sandes ins Meer gekippt werden.

In *Pergamon* übertunnelte man in antoninischer Zeit einen ganzen Fluß und schuf eine Plattform, um darüber ein Heiligtum der ägyptischen Götter anzulegen, das mit 270 m Länge und 100 m Breite zu den größten Anlagen dieser Art in der Antike zählt. Unter den Ruinen der „*Roten Halle*“ verbirgt sich außerdem ein weitverzweigtes System von Kanälen und Zisternen (20).

In der *Wasserbaukunst*, der Gründung von Brücken, etc. haben die Römer für diese Mauertechnik nie wieder erreichte Meisterleistungen geschaffen. Dies empfand schon Altmeister Piranesi, wie seine Wiedergabe der *Fundamente* der *Tiberbrücke* illustriert (34). Dabei waren mit den Aquäduktbrücken über die Bergschluchten um *Rom*, die im Frühjahr zu reißenden Sturzbächen werden konnten, keine geringen Probleme zu meistern (z. B. am *Ponte Lupo*). Nicht immer gelang dies aber, wie die in Nordafrika unter Trajan errichtete *Brücke bei Chemtou* über die Medjerda, den größten Fluß Tunesiens, zeigt. Dennoch, der Faszination dieser ingenieurtechnischen und baukünstlerischen Leistung kann sich auch heute keiner entziehen, der vor einem der grandiosen Aquädukte (*Oued Miliane*, *Segovia*, *Pont du Gard*) steht (22).

Die Gründung des *Kenotaphs in Limyra*, eines in den Dimensionen dem Ptolemaion ebenbürtigen Bauwerks für den dort verstorbenen Adoptivsohn des Kaisers Augustus aus dem 1. Jahrhundert n. Chr., konnte bei den Grabungen

trotz eisigen Quellwassers bis an den Fundamentfuß erkundet werden. Der mit Quadern verkleidete, doppelte Caementicumkern reicht 3 m tief unter den heutigen Grundwasserspiegel und muß auch damals ins Wasser gelegt worden sein. Die Sohle ruht auf einer einst festen Schicht von Erosionsschutt aus Kalksteinbrocken und Lehm. Die Ausschwemmung des Lehms durch die auch hier seit der Spätantike kräftig hervorbrechenden Karstquellen ließ aber selbst diese Fundamente im Laufe der Zeit um 26 cm schräg abkippen (27).

Vitruv erläutert die Methode der Gründung in sumpfigem Gelände eingehend. Er empfiehlt, der Platz „... solle abgegraben und leergemacht, dann mit angekohlten Pfählen von Erlen-, Oliven- oder Eichenholz gefestigt werden, wobei die Tragpfähle möglichst dicht nebeneinander mit Maschinen einzurammen sind. Die Zwischenräume der Pfahlreihen sind mit Holzkohle auszufüllen und darauf die Gründung aus sehr festem Mauerwerk aufzuführen.“ Die Verwendung von Holz des kostbaren Olivenbaumes ist allerdings ein akademischer Tip des sonst sehr pragmatischen Vitruvs. Doch er unterscheidet bereits zwischen Tragpfählen und Verdichtungspfählen (21).

Diese *Pfahlgründungen* entwickelten die römischen Pioniertruppen beim Bau zahlloser Brücken sehr früh zu hoher Perfektion, wie in Caesars Bericht über seine Feldzüge in Gallien nachzulesen ist. Einige der spektakulärsten Konstruktionen hat 1750/56 *Piranesi* in seinem Stichwerk „*Le Antiquità di Roma*“ getreulich mit Maßangaben aufgenommen, wengleich einige Blätter den Eindruck künstlerisch übersteigern; davon seien die *Fundamente des Marcellustheaters* am Tiberufer gezeigt. Eichenpfähle mit Eisenschuhen hat man auch bei uns mehrfach an den Stellen römischer Brücken aus dem Fluß geborgen, z. B. in *Mainz*. Die Methode mit hölzernen Senkkästen, Abdichtung mit Werg und Lehm oder Ausmauerung und Auspumpen für Brückenpfeiler wird bei Vitruv beschrieben, die *Moselbrücke in Trier* bietet dafür ein gutes Beispiel. Die Militärs hatten schon immer einen Hang zu „zweihundert-prozentigen“ Lösungen, so auch die römischen, deren Heeresbauabteilung die gallischen, germanischen und britischen Kastelle auch dort unterpfälhten, wo keine bautechnische Notwendigkeit bestand. Allerdings wurde in Stärke und Dichte differenziert zwischen längeren und dichter gesetzten Pfählen unter Umfassungsmauern und weniger sowie kürzeren für die Fundamente der Binnenbebauung; besonders dicke Pfähle kamen immer für Brückenpfeiler zum Einsatz. Pfahllängen von maximal 1,5 m und 0,50–0,75 m wurden am häufigsten festgestellt (35).

In der *frühchristlichen und byzantinischen Epoche* baute man häufig an Bauplätzen innerhalb von Städten über Bauwerken der vorangegangenen Zeiten. Dies erforderte besondere Fundamentierungsmaßnahmen, wobei mitunter enorme Mauer Massen in der Erde verschwanden. Die bis zu 11 m hohen, verfüllten Substruktionen für die 119 x 64 m große *konstantinische Peterskirche in Rom* über einer aufgelassenen Nekropole sind hier beispielhaft zu nennen. Die Grabanlagen durften dabei nicht zerstört werden, lediglich zugeeckt, so daß umfangreiche Tragkonstruktionen für die Mauern der fünfschiffigen Basilika erstellt werden mußten.

Die Fundamente der *Lateransbasilika*, errichtet über den Grundmauern der Kaserne der Reitergarde, wurden 10 m tief hinabgesenkt, an der Apsis – Caementicium in Ziegelschale – sogar bis zu 14 m auf die Hügelsohle (39).



In *Karthago* stellen die Apsisfundamente der byzantinischen Basilika auf der alten Agora der punischen und römischen Hauptstadt eine 9 m tief bis auf die Seesandschichten reichende Caementicummasse dar, die mit Quadern der punischen Vorgängerbauten durchsetzt und teilweise verkleidet war. Raubgänge im Caementicum zeigen, wie man später in geradezu bergmännischer Art an diese hochbegehrten Blöcke zu gelangen trachtete – verständlich in einer Zeit, wo römisches Transportwesen und Steinbrüche längst nicht mehr bestanden (40).

Die *Byzantiner* führten die technischen Errungenschaften der Römer weiter, es kamen aber neue Bauaufgaben dazu, wie große Zisternen unter Plätzen und Gebäuden, vor allem in *Konstantinopel*. Es waren dies gewaltige Tiefbauwerke, bei denen die technischen Probleme von Erddruck und Wölbung hervorragend bewältigt wurden. Bei der *Yerebatan Saray-Zisterne*, deren türkischer Name nicht von ungefähr „versunkener Palast“ bedeutet, werden die Kreuzgewölbejoche von 336 Säulen getragen; die Grundfläche mißt 140 x 70 m. Die Säulen der nahebei gelegenen, 64 x 65 m großen *Binbir Direk-Zisterne* ragen gar 15m auf, sind deshalb aus zwei Einzelschäften zusammengesetzt (28, 39).

Aufschlußreich ist, wie die natürlichen Ressourcen der Region sowie ganz bestimmte Gegebenheiten des Bauplatzes die technischen Entwicklungen vorantrieben. Die Römer hätten für solche Aufgaben ihr aus Pozzolanderde hergestelltes Caementicum eingesetzt. Die Byzantiner entwickelten hingegen die Ziegelwölbung zu ungeahnter Perfektion. Für die Wände wurde die alte, durchgeschichtete Quaderbauweise mit Ziegel und einer Mörtelmischung von Sand, Kalk und Ziegelsplitt zu einem hocheffizienten Verbundsystem vereinigt, das bei großer Stabilität schnellen Baufortschritt erlaubte. Bei Mörtelfugen von Ziegelsteindicke dienten die Ausgleichsschichten von 5 Ziegellagen nach 4 Quaderscharen auch als Dilatationsfugen (36). Die *Polyeuktoskirche in Konstantinopel* (begonnen 524) ist dafür ein anschauliches Beispiel. Nur ihre Fundamente sind erhalten: eine aufwendige Substruktionsarchitektur, die uns allein übriggeblieben ist, um zusammen mit den hinabgestürzten Fundstücken der prächtigen Innenausstattung eine Vorstellung von der großartigen Raumschöpfung zu gewinnen. Die mit 7 m außergewöhnlich breiten mittleren Streifenfundamente waren zur Aufnahme einer beträchtlichen Auflast konstruiert, vermutlich von einer weitgespannten Kuppel, wie andere Beispiele dieser Zeit lehren (37).

## Mittelalter

Den Baumeistern des Mittelalters war der Erfahrungsschatz Vitruvs im großen und ganzen vertraut, seine Schriften erfuhren allerdings erst eine größere Verbreitung seit ihrer Wiederentdeckung für Mitteleuropa 1415 in der St. Galler Klosterbibliothek und danach durch den Buchdruck. In Italien jedoch waren Vitruvs Bücher schon für die Frühhumanisten des 14. Jahrhunderts wie *Petrarca* und *Boccaccio* richtungweisend, ab der Mitte des 15. Jahrhundert setzt durch *Albertis* Architekturtraktat „De Re Aedificatoria“ eine intensive Auseinandersetzung mit Vitruv ein. *Antonio Filarete* berichtet um 1461 in seinem „Traktat über die Baukunst“ vom antiken Spundwandverfahren der Venezianer für ihre Gründungen in der Lagune. Bauleute besuchten und besichtigten andere Baustellen, machten sich Notizen

wie die „Musterbücher“ zeigen. Unter den Dombauhütten gab es Erfahrungsaustausch, beispielsweise durch verwandtschaftliche Beziehungen, wie zwischen Wien und Prag; bei größeren Schwierigkeiten an einem Bau gab es eine kollektive Beratung (41).

In *Lorenz Lachers Musterbuch* „Unterweisungen“, 1516 für seinen Sohn verfaßt, wird der Prüfung des Baugrunds und der Gründung ein Absatz gewidmet. Man untersuchte die Beschaffenheit des Bodens mit einem Hakenpfahl und prüfte die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch Einschlagen eines Probepfahls; gelang dies kaum oder nicht, war man's zufrieden und begann mit dem Mauern. Ließen sich die Pfähle in den Grund treiben, so mußte man dies über die ganze Fläche tun, dicht an dicht, darüber kam ein Rost aus Eichen-, Buchen- oder Erlenbalken, in die Zwischenräume wurden Steine und frischer Kalk gestampft. Für die Dimensionierung der Turmfundamente empfiehlt Lacher die anderthalbfache Stärke der aufgehenden Mauern. Diese Art von numerisch proportionierender Statik war das übliche Verfahren, wie auch aus italienischen Traktaten zu sehen ist (*Alberti, Serlio*). Die Grube für Pfeilerfundamente sollte mit „blauem Letten sorgfältig zwei bis drei Fuß hoch ausgestampft werden“ (35, 42).

Beim *Dom in Straßburg* fand man in der Tat eine z.T. mit Holzkohle vermischte Lettenschicht, allerdings nur unter den Innenstützen.

Dieses Material sollte als Puffer zum Ausgleich von Unebenheiten dienen und gleichzeitig mögliche Formänderungen wie leichtes Aus-dem-Lot-Gehen oder Knicken mitmachen – was eine interessante Vorstellung von der Statik des Bauwerks verrät –, die Mittelpfeiler gewissermaßen als Pendelstützen (43).

Man wußte um die Setzungsprobleme, bei *St. Stephan in Wien* zum Beispiel ließ man die schwereren Turmfundamente einige Jahre ruhen, bevor mit dem Kirchenschiff weitergebaut wurde.

Unter dem *Dom zu Speyer* wurden ein dichter Fundamentrost angelegt, für die Pfeiler Streifenfundamente von 2 m Breite und 4–5 m Tiefe, aber auch offensichtlich statisch wirkungslose, quer zum Schiff verlaufende Fundamentzüge und für die Kryptasäulen völlig unterdimensionierte, knapp 50 cm tief gegründete Mauerchen (44). Ein ähnliches, allerdings statisch effizienteres Rostsystem, sich nach unten stufenförmig verbreiternd, liegt der *Kathedrale von Amiens* zugrunde, die schon im 19. Jahrhundert von Viollet-le-Duc zum erstenmal untersucht und aufgemessen worden ist (45, 46). Die Fundamente reichen 8 m tief hinab; beim *Dom in Köln* sind es gar 12 m!

Der Ausdruck „*Spannfundamente*“ für diese in *Speyer* und auch anderswo beobachteten Mauern unterhalb des Fußbodens, die Fundamente miteinander verbanden, weist auf eine damals geläufige fälschliche Vorstellung von der Fähigkeit solcher Mauerzüge, Zugspannungen übernehmen zu können. Darauf deuten auch gelegentlich vorhandene Balkenkanäle hin, wie sie beispielsweise in den Fundamenten der *Kathedrale von York* entdeckt wurden (47).

Die Regel waren aber bei Säulen und Pfeilern seit altchristlicher Zeit Punktfundamente, wie etwa die Ruinen der neuschiffigen Pilgerkirche Kirche *Damous el Karita in Karthago* erkennen lassen. Das Erdreich zwischen dem Säulenwald war begehrter Begräbnisplatz, um in der Nähe des Heiligen die letzte Ruhe zu finden. Die Grabungen in der *Kastorkirche von Koblenz* brachten die Fundamente des

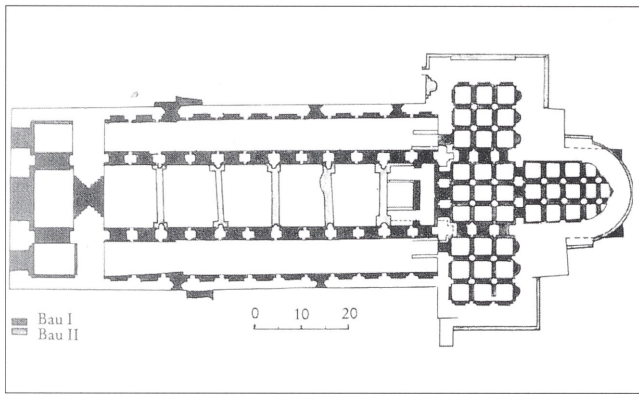


Abb. 17. Speyer, Dom. Gesamtsystem der Streifenfundamente, beg. um 1025 (nach: Kubach, Haas/Conrad, Abb. S. 162).

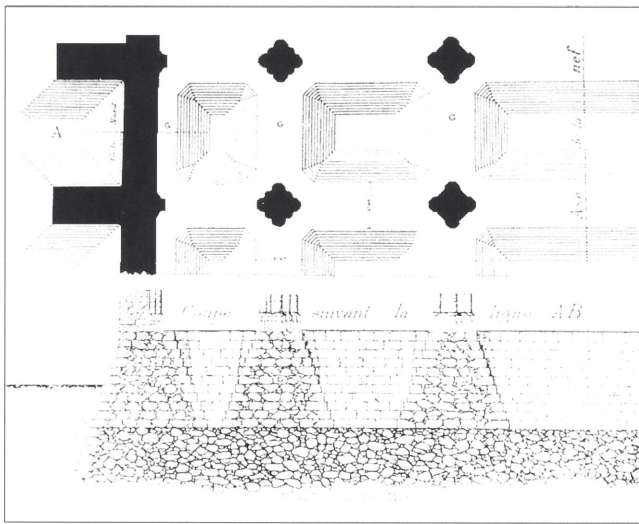


Abb. 18. Amiens, Kathedrale. Fundamentrost und Schnitt des konstruktiven Aufbaus; 8 m tief auf eine tragfähige Tonschicht nahe der Somme gegründet, um 1230 (nach: Viollet-le-Duc/Conrad, Abb. 117).

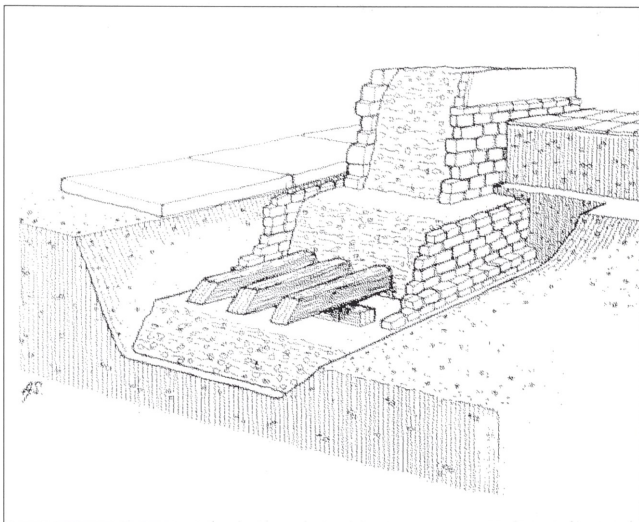


Abb. 19. York, England, Kathedrale. Fundamente aus Gußwerk mit Balkeneinlage und Kleinquaderverblendung, 11. Jh. (nach: Phillips/Mark, fig. 2.22).

12. Jahrhunderts zu Tage, aus sehr heterogenem Material, mit reichlich Mörtel recht kunstlos direkt in die ausgeschachtete Grube gepackt, von Spolien durchsetzt und ohne wesentliche Verbreiterung oder Abtrepfung, wie sie bei *Amiens* beobachtet worden ist. Die Vierungspfeiler sind 4,5 m tief auf den stabilen Kies gesetzt, die Mittelschiffpfeiler nur knapp 2 m in den Hochflutlehm, was bei den nahezu jährlichen Überschwemmungen im Laufe der Zeit zu Gefügeschäden in Mauerwerk und Gewölbe geführt hat.

Für Einzelfundamente hatte man sich sogar beim Bau von kontinuierlichen Mauerzügen wie einer *Stadtmauer* entschieden. Um das ehrgeizige Unternehmen einer 4 km langen, kompletten Ummauerung von *Oberwesel am Rhein* rasch und materialsparend zu bewerkstelligen, gründete man Pfeiler im Abstand von 4,5 m bis zu 2 m tief in den Schluff und verband sie in Höhe des Geländes mit schmalen Spannbögen. Ein weiterer Grund für dieses Verfahren war auch, dem Wasserstau am Hang vorzubeugen. Ein sicherer Verbund entstand dadurch, daß man zugleich mit dem Hochmauern der Pfeiler den Zwischenraum mit dünnerem Mauerwerk schloß und anschließend in etwa 3 m Höhe die Pfeiler über die volle Breite mit Tragbögen verbunden hat, auf denen der Wehgang verlief. Der Fels steht erst in 6 m Tiefe an. In einer späteren Bauphase hat man die Mauer aufgestockt, so daß sie sich heute an einigen Stellen gefährlich neigt und ein Lehrbeispiel für den Zusammenhang von Überbelastung, Gefügeschäden und Gründungsart darstellt. Entlang des Rheinufer hingegen hat man den Aufwand gescheut, bis auf den tragfähigen Kies zu gründen und vertraute auf die gleichmäßige Bodenpressung eines durchlaufenden Fundaments. Dies führte allerdings beim nachträglich erfolgten Anbau der erheblich höheren Türme zu Setzung und Neigung, und zwar noch während der Bauzeit, obwohl man anscheinend durch Holzanker versucht hatte, eine bessere Lastverteilung und Anbindung zu erreichen.

Beispiele von *Pfahlgründungen* gibt es aus dem Mittelalter verhältnismäßig häufig. Diese Methode, den Baugrund zu stabilisieren, hat in unserem Raum eine lang zurückreichende Tradition, die mit den prähistorischen Uferrandsiedlungen (den früher sogenannten Pfahlbaudörfern) beginnt und vor allem in Nordeuropa wohl nie ganz abriß. Zunächst nur einfache Vorkehrungen, um das Einsinken von aufgeständerten Häusern in den morastigen Grund zu verhindern, waren bald auch regelrechte Pfahlroste durchaus üblich. Die Römer brachten einige technische Verbesserungen, über die oben schon berichtet wurde. Inwieweit diese tradiert wurden, ist noch ungeklärt. Ihre bei Kastellbauten beobachteten Methoden deuten m.E. auf einen Austausch von mediterraner mit einheimischer Bautradition (35).

Die am weitesten verbreitete, und nach den Befunden offenbar schon im 8. Jahrhundert bei uns nachweisbare Methode von einfachen Pfahlgründungen war die, Knüppel, Spalthölzer oder Stämme auf gleiche Höhe in den Boden zu treiben und unmittelbar darauf die Mauer zu setzen. Geräte zum Einrammen von Pfählen, ja Absägen unter Wasser sind aus mittelalterlichen Handschriften bekannt, so dem Bauhüttenbuch des Villard de Honnecourt aus dem beginnenden 13. Jahrhundert (48). Ein Beispiel der einfachen Art von Pfahlgründung, das auch den Lacherschen Empfehlungen entspricht, wurde bei den Untersuchungen unter den Fundamenten des *Mainzer Doms* angetroffen. Durch die Regulierung des Rheins im 19. Jahrhundert sank der Grundwasser-

spiegel, die Pfähle fielen trocken und begannen zu vermodern. So mußten 1909–16 die ersten Unterfangungsarbeiten durchgeführt werden, die 1925–26 mit einer Untertunnelung fortgesetzt werden konnten: ein technisch bemerkenswertes Unternehmen (49).

Ab dem 10. Jahrhundert ist das Verfahren nachweisbar, die Pfähle dicht an dicht zu rammen, darauf eine Lage paralleler **Schwellbalken** aus mehr oder weniger bearbeiteten Hölzern für die Mauer zu legen (*Konstanz, Salmannsweilerhof; Schuttern, Kreuzkirche*).

Erheblich weiter entwickelt, in seiner Idee aus dem Fachwerkbau stammend und ab dem 13. Jahrhundert üblich, ist das Verfahren, auf dicht gerammte Pfähle einen gut verzimerten **Leiterrost** zu legen. In die Zwischenräume setzte man kleinere Pfähle oder stampfte Steine. Vitruvs Unterscheidung zwischen Trag- und Verdichtungspfählen kommt in den Sinn, aber sonst ist die Gitterrostidee eine Weiterentwicklung. Diese Methode wird seit dem 16. Jahrhundert im Festungsbau gern angewandt, zahlreiche Architekturtraktate erläutern Konstruktion und Wirksamkeit wie von *Johann Dillich*, 1648, und *David Gilly*, 1800. Ein gutes Beispiel wurde unter dem *Geschützrondell der Ratzeburg* freigelegt.

An einigen Burgen ist beobachtet worden, daß die Art der Fundamentierung der Zweckbestimmung der Mauer angepaßt war. Außenmauern erhielten Schwellenpfahlgründungen, Innenwände einfache Pfahlgründungen (*Schloß Büdingen*).

Neben der Pfahlgründung scheint die Gründung auf **Fundamentbögen** bei unsicheren Bodenverhältnissen, wie etwa bei aufgefüllten Gräben oder Wasserrinnen u. ä., weitaus häufiger der Fall gewesen zu sein, ist z. B. für die karolingische Zeit schon in der *Kastorkirche in Koblenz* belegt. Auch wenn von den Wasserläufen heute oft nichts mehr vorhanden ist als feineres Schwemm-Material, wie bei einer Grabung in der *Augustinerkirche* im heute völlig trockenen Stadtzentrum von *Mainz* festgestellt werden konnte.

Für den ersten Fall ist vor einigen Jahren in *Nieder-Olm* unweit von Mainz im Bereich des ehemaligen, nachmittelalterlich verfüllten *Schloßgrabens* ein langer, rechtwinkelig geknickter Mauerzug über eine Reihe von 2,5 m weit gespannten Bögen beim Aushub einer Tiefgarage zum Vorschein gekommen. Die Pfeiler endeten nach ca. 1 m Tiefe in einer Stein-Mörtel-Packung.

Ein interessantes Beispiel solcher Fundamentbögen aus dem Burgenbau ist am *Grafenschloß über Diez* ergraben worden. Das Gelände der zunächst nur von einer Mauer umschlossenen Vorburg war von mächtigen Aufschüttungen aus Bruchmaterial der Zurichtung des Hauptburgfelsens und in geringerem Maße Abfällen der Steinmetztätigkeit zur Errichtung von Palas und Bergfried bedeckt. Für die spätere, zweigeschossige Bebauung traute man diesem Untergrund offenbar nicht, aber man sparte sich die Mühe, bis auf den tragfähigen Fels zu graben, legte vielmehr 4–5 m weite Bögen als Träger der Grundmauern an, die auf gleichfalls knapp 1 m tief eingegrabenen Pfeilern aufliegen. Für die Binnenmauern im sogenannten Werkstattbau genügte zwischen die beiden Außenmauern eingespannte, im Scheitel zwei Steinstärken hohe Bögen als Fundamente.

Im Burgenbau ist die Überbrückung von Felsspalten durch Bogenkonstruktionen oder kleine Tonnengewölbe ein immer wieder angewandtes Verfahren, das verhältnismäßig sicher und ökonomisch war. Auch hier kann noch einmal

das *Grafenschloß Diez* genannt werden, wo eine Tiefsondage von 11 m an der Nordseite zeigte, wie – bis aufs Äußerste gehend – das ursprüngliche Burgareal auszudehnen versucht wurde und Klüftungen mittels kühner Stützbögen überspannt wurden.

Die *Schönburg über Oberwesel* vergrößerte man bei der Ganerbenteilung nach Süden über einen Graben hinweg, der ursprünglich als weiteres Annäherungshindernis nach dem eigentlichen, tiefen Halsgraben den ältesten Burgteil geschützt hatte. Die nunmehr notwendige, 12 m hohe Stützmauer wurde über eine am Grund verlaufende Felsspalte



Abb. 20. Koblenz, St. Kastor. Pfeilerfundamente der Mittelschiffarkaden, ca. 2 m tiefe Punktfundamente im Hochflutlehm, Baubeginn 1198 (Foto: Verf.).

Abb. 21. Oberwesel, Rheinland-Pfalz. Stadtmauer. Abschnitt Michelfeld, Gründung am Hang mit 2 m tiefen Fundamentpfeilern und Verbindungsbögen, 1. Bauphase 1243 (Foto: Verf.).



mittels eines Trichtergewölbes gesetzt, in dem klugerweise eine Aussparung eine Stauwasserbildung verhinderte.

Eine etwas waghalsige Konstruktion zeigt die *Burgruine Monreal*, wo die Schildmauer vor dem runden Bergfried an der Nordseite auf mehreren Bögen aufruft. Den Zustand des Felsens hat eine dahinter im Zwickel ausgeschrotete Latrinengrube nicht verbessert, so daß die Statik der Schildmauer nun prekär geworden ist.

Gar nicht selten wurde die scheinbar problemlose Tragfähigkeit von Felsgrund überschätzt. Beim Bruchsteinmauerwerk, das sich wegen seiner geringeren Kosten und größe-

ren Anpassungsfähigkeit gegenüber dem Buckelquaderwerk durchsetzte, mußte die Felsvorbereitung nicht mehr so präzise sein. Es konnten mit einiger Bravour und viel Mörtel auch eigentlich ungeeignete Felsen bebaut werden, was sich mitunter hinterher rächte. Die *Burgruine Kastellaun* ist dafür ein lehrreiches Beispiel. Die aus fortifikatorischen Gründen notwendige Erweiterung des Verteidigungsringes um neue Zwingermauern zwang zur Bebauung der äußersten Geländekante des Schieferfelsens, führte zur Auffüllungen mit Steinschutt hinter der Mauer, um das Gelniveau anzuheben. Später rückten Häuser an den Fuß des Burgfelsens, wurden Bauplatz und Keller aus dem Fels geschlagen. Die zusätzliche Auflast zusammen mit der starken Abtragung am Fuß des Burgfelsens und dem Oberflächenwasser brachten die unter 65 Grad geneigten Schichten in unserer Zeit ins Gleiten; Teile der Zwingermauer waren allerdings schon zu einem früheren Zeitpunkt abgerutscht. Mit Vernagelung des Felshangs versuchte man dem heute entgegenzuwirken. Daß dabei auch kräftig an Rekonstruktion zugelegt wurde, solch große Unternehmungen nicht nur für ein paar kümmerliche Mauerruinen in Szene gesetzt werden, liegt anscheinend in der „Eigendynamik“ solcher Projekte, sieht jedoch der Denkmalpfleger und Bauhistoriker oft sehr kritisch.

Damit sind wir schon mitten in den Bemühungen unserer Tage angekommen, diesen historischen Konstruktionen ein Überleben zu ermöglichen, sie unseren Nachkommen zu erhalten, um diese auch noch daran studieren und staunen zu lassen.

Grundlage des Wissens war bis zum Mittelalter die praktische Erfahrung, waren einige sehr einfache Faustregeln und eine lange Tradition. Erst seit der Renaissance beginnt die theoretische Auseinandersetzung mit bestimmten Problemen, werden diese in Traktaten und Architekturbüchern abgehandelt, verschiedene Lösungen auch zeichnerisch erläutert. Waren es im Mittelalter neben dem Baumeister der Steinmetz und Zimmermann, die sich dieser Probleme und ihrer praktischen Lösung annahmen, so verlagerte sich allmählich die Fachkompetenz auf den Architekten. Erste Ansätze für die Berechnung statischer Probleme im Zusammenhang mit Gründung lassen sich um die Mitte des 18. Jahrhunderts feststellen, bis im 19. Jahrhundert mit dem Einsatz neuer Werkstoffe die Mathematik und die Ingenieurwissenschaft zunehmend das Feld zu beherrschen beginnen (38, 50).

Als Ingenieure wissen wir heute über diese Wirkzusammenhänge etwas besser Bescheid als frühere Bauleute – oder glauben es zu wissen; jedenfalls kennen wir eine Reihe von Methoden und Verfahren, um zunächst die Problematik aufzuspüren und dann die anstehende Aufgabe meistern zu können.

Bei dieser „tour d’horizon“ historischer Gründungstechniken möchte ich als Denkmalpfleger und Bauhistoriker für das Verständnis und die Wertschätzung alter Konstruktionen eine Lanze brechen, und zwar zum einen, weil die meisten über Jahrhunderte ihre Verlässlichkeit bewiesen haben, einen Dauertest bestanden haben, den unsere heutigen Verfahren und Werkstoffe nicht vorweisen können, und zum anderen, weil sie Teil des Entwurfs, der Idee und damit des Denkmals sind, das wir zu schützen uns vorgenommen haben, dem unsere Erhaltungsmaßnahme dienen soll.

Ein Referat „Vom Umgang mit alten Konstruktionen“ würde etwas anders aussehen. Aus entsprechenden Beispielen



Abb. 22. Ratzeburg, Schloßinsel. Geschützrondell. Pfahlrost aus verblatteten Buchenschwellen auf eingezapften, dicht eingeschlagenen Eichenpfählen, um 1524 (nach Borrmann, Abb. 148).



Abb. 23. Burg Hohlenfels, Taunus. Ankerbalken aus Stahlbeton mit Spannungsmessern und Justiereinrichtung im Halsgraben unterhalb der 1978 teilweise eingestürzten Schildmauer; Felssicherungsmaßnahme 1993 (Foto: Verf.).

würde einerseits grobes Unverständnis der Zusammenhänge zwischen den Bauten und dem Grund, auf dem sie stehen, deutlich werden, andererseits aber auch eine leider unter Bauingenieuren heute sehr weit verbreitete Haltung: Alte Konstruktionen, die nunmehr Schäden aufweisen, haben sich meist aufgrund dessen schon disqualifiziert, gleichgültig ob sie nun über Jahrhunderte ihren Dienst taten, sie müssen auf jeden Fall durch eine neue, zeitgemäße, dem letzten technischen Standard entsprechende Konstruktion ersetzt werden. Dies sei zuletzt noch an drei Beispielen illustriert.

Es geht hierbei um die Erhaltung des Baudenkmals in seiner Gesamtheit, als Zeitzeuge, gewiß auch mit den notwendigen Hilfen und Stützen. Wo sich aber die Brillanz des ingenieurtechnischen Eingriffs in den Vordergrund zu spielen beginnt, wo das Dienende zum Selbstzweck wird, ist Skepsis angebracht.

Für Aufsehen sorgte zweifellos der Fall *Burg Hohlenfels*, wo vor 20 Jahren Teile der Schildmauer mitsamt einem Turm in den Halsgraben stürzten und zum Glück nur ein Auto unter sich begruben. Die Ursachen für dieses Geschehen („Hohlenfels“ – nomen est omen!) sind Gegenstand einer ausführlichen geologischen Untersuchung, die Behebung und Vorkehrung gegen künftige Vorfälle ein Modellfall geotechnischer und ingenieurgeologischer Maßnahmen



Abb. 24. Burgruine Gräfenstein, Pfalz. Stützmauer am Kernburgfelsen, 1912 (Foto: Verf.).

mit neuestem High Tech gewesen. Man kann dieser Lösung eine gewisse Faszination nicht absprechen, Aufwand und Effekt sind in der Tat beeindruckend und man sieht förmlich die wirkenden Kräfte, die den maroden Felsen zusammenhalten. Dennoch kann man sich nach längerer Betrachtung eines gewissen Unbehagens nicht erwehren. Die bescheidene Bruchsteinmauer da oben, so hoch sie auch aufragt, mag, spricht doch eine leisere Sprache als dieser volltönende Paukenschlag zu ihren Füßen. Man hat den Eindruck, vor einem Patienten auf der Intensivstation zu stehen, über dessen Schicksal ein hochmögendes Ärztekollegium sehr selbstbewußt und selbstgefällig entschieden hat; die Stimme des Patienten war jedenfalls kaum mehr zu hören im Chor der brillanten Köpfe.

Daß es auch einfacher geht, mag zum Abschluß mit der *Burgruine Gräfenstein* das fast „klassische Beispiel“ einer Technik zeigen, die übrigens noch gar nicht solange aus der Mode gekommen ist, die noch die Generation unserer Großväter mit ihrem Gespür für Material meisterlich beherrschte. Wie sensibel man dafür im Mittelalter war, läßt sich an der *Burgruine Breitenstein* erkennen, wo der Fels fast liebevoll steinmetzmäßig mit Buckelquadern ummantelt wurde. Freilich sind hier die statischen Probleme ganz andere gewesen, als beim hohlen Felsen, es ging um die Sicherung des Überhangs und den Schutz vor weiterer Abwitterung.

Die Ertüchtigung alter Konstruktionen ist nicht nur angemessener, sie ist häufig auch erheblich billiger, sie erfordert allerdings Einfühlungsvermögen, Erfahrung und Wissen. Leider sind unsere Kenntnisse historischer Gründungstechniken noch viel zu gering. Jede Voruntersuchung bei einer geplanten Maßnahme kann sie wie auch die der Schadens- und Versagensmechanismen erweitern. Wesentlich mehr an Informationen als lediglich Bohrungen liefern hier **archäologische Methoden**, die uns etwa historische Reparaturen oder die Ursachen für das Versagen einer ursprünglich wirkungsvollen Gründungstechnik erkennen lassen. Auch die sogenannten „Schürfen“ sind für den Archäologen und Bauhistoriker keine Alternative, leisten nie, was eine fachgerechte stratigraphische Sondierung erbringen kann. Denn Baugrund bei historischen Bauten ist immer auch Teil ihrer Biographie, ist Bodenarchiv ihrer Geschichte.

## Literaturhinweise

### *Orientalische Hochkulturen:*

- (1) *Naumann, Rudolf:* Architektur Kleinasiens, Tübingen 1971.
- (2) *Frankfort, Henri:* The Art and Architecture of the Ancient Orient (The Pelican History of Art), Harmondsworth 1979.
- (3) *Lloyd, Seton/Müller, Hans Wolfgang:* Ägypten und Vorderasien (Weltgeschichte der Architektur), Stuttgart 1987.
- (4) *Cenival, Jean-Louis de:* Ägypten (Architektur der Welt), München 1964.
- (5) *Golvin, Jean Claude/Goyon, Jean-Claude:* Karnak, Anatomie eines Tempels, Tübingen 1990.
- (6) *Hauptmann, Harald:* Die Entwicklung der frühbronzezeitlichen Siedlung auf dem Norşuntepe in Ostanatolien, in: Archäologisches Korrespondenzblatt 6, 1976, S. 9 ff., Taf. 10.

### Vorrömische Antike:

- (7) Müller-Wiener, Wolfgang: Griechisches Bauwesen in der Antike, München 1988.
- (8) Gruben, Gottfried: Die Tempel der Griechen, München 1973.
- (9) Kostof, Spiro: Geschichte der Architektur, 3 Bde., Stuttgart 1993.
- (10) Martin, Roland: Griechenland (Weltgeschichte der Architektur), Stuttgart 1978.
- (11) Müller, Werner: Architekten in der Welt der Antike, Zürich 1989.
- (12) Lawrence, A. W.: Greek Architecture (The Pelican History of Art), Harmondsworth 1983.
- (13) Borchhardt, Jürgen: Die Steine von Zemuri-Limyra, Wien 1993.
- (14) Borchhardt, Jürgen: Myra, Eine lykische Metropole in antiker und byzantinischer Zeit, Berlin 1975.
- (15) Stanzl, Günther: Die Grabungen 1992 am Ptolemaion in Limyra, in: Kazi Sonuclari Toplantisi XIV, Ankara 1993.
- (16) Stanzl, Günther: Das sogenannte Ptolemaion in Limyra, Ergebnisse der Ausgrabungen 1984–89, Akten des II. Internationalen Lykien-Symposiums in Wien, Wien 1993.
- (17) Coulton, J. J.: Ancient Greek Architects at Work: Problems of Structure and Design, New York 1977.
- (18) Hofmann, Adolf (Hrsg.): Bautechnik der Antike, Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung, Bd. 5, Berlin 1991.
- (19) Rakob, Friedrich/Stanzl, Günther: Karthago I, Die deutschen Ausgrabung, Mainz 1991.
- (20) Radt, Wolfgang: Pergamon, Köln 1988.

### Römische und byzantinische Epoche:

- (21) Vitruv: Zehn Bücher über Architektur, hrsg. v. G. Fensterbusch, Darmstadt 1981.
- (22) Frontinus, Sextus Julius: Die Wasserversorgung antiker Städte, hrsg. v. d. Frontinus-Gesellschaft, 3 Bde., Mainz 1989.
- (23) Durm, Josef: Die Baukunst der Etrusker, Die Baukunst der Römer, Stuttgart 1905.
- (24) Lamprecht, Hans-Otto: Opus Caementitium, Bautechnik der Römer, Düsseldorf 1984.
- (25) Ward-Perkins, J. B.: Roman Imperial Architecture (The Pelican History of Art), Harmondsworth 1981.
- (26) Klinkott, Manfred: Die ambulationes pensiles in der pergamenischen Stadtbaukunst, in: IstMitt 39, 1989, S. 273–280.
- (27) Ganzert, Joachim: Das Kenotaph für Gaius Caesar in Limyra, in: IstFor 35, 1984.
- (28) Mark, Robert (Hrsg.): Architectural Technology, Cambridge/MA 1993.
- (29) Sear, Frank: Roman Architecture, Ithaca 1982.
- (30) Graefe, Rainer (Hrsg.): Zur Geschichte des Konstruierens, Stuttgart 1989.

### Lukas Högl

## Fragen des Baugrundes in der Burgenkonservierung und Burgenarchäologie – Beispiele aus der Schweiz und dem Fürstentum Liechtenstein

Gründungsfragen spielen im Burgenbau von Beginn an bis heute eine besondere Rolle. Ein Grund ist seine außergewöhnlich enge Beziehung zur Topographie, die sich in häufig sehr exponierten Bausituationen äußert. Die Forschung am Bau, Bodenarchäologie und Bauuntersuchung, deckt öfters Spuren von aufgetretenen Gründungsproblemen auf. Bei Ruinen, also Gebäuden, die im Zerfall begriffen sind, verschärfen sich einerseits manche dieser Probleme und andererseits kommen zusätzliche dazu. Die heutige Konservierung von Ruinen hat sich damit zu befassen. Der vorliegende Beitrag bringt eine lose Folge von Beispielen, zuerst von Bauten auf Lockermaterial, dann von sol-

- (31) Carpano, C.M.: Nuove dati sulle fondazioni dell'Anfiteatro Flavio, in: Antiqua. Revista di archeologia architettura urbanistica dalle origine al medio evo, H. 7, 1977.
- (32) Boethius, Axel: Etruscan and Early Roman Architecture (The Pelican History of Art), Harmondsworth 1978.
- (33) Lézine, Alexandre: Les Thermes d'Antonin à Carthage, Tunis 1969.
- (34) Piranesi, Gianbattista: Antiquità Romane, Tom. IV, 173, 1756.
- (35) Borrmann, Michael: Historische Pfahlgründungen, Karlsruhe 1992.
- (36) Mainstone, Rowland J.: Hagia Sophia: Architecture, Structure and Liturgy of Justinian's Great Church, New York 1988.
- (37) Harrison, Martin: Ein Tempel für Byzanz: Die Entdeckung und Ausgrabung von Anicia Julianas Palastkirche in Istanbul, Stuttgart 1990.
- (38) Straub, Hans: Geschichte der Bauingenieurkunst I, Basel 1992.
- (39) Krautheimer, Richard: Early Christian and Byzantine Architecture (Pelican History of Art), Harmondsworth 1975.
- (40) Rakob, Friedrich: Ein punisches Heiligtum in Karthago und sein römischer Nachfolgebau, in: RM 98, 1991, S. 30–80.

### Mittelalter:

- (41) Conrad, Dietrich: Kirchenbau im Mittelalter, Leipzig 1990.
- (42) Binding, Günter: Baubetrieb im Mittelalter, Köln 1993.
- (43) Müller, Werner: Grundlagen gotischer Bautechnik, München 1990.
- (44) Kubach, Hans-Erich/Haas, Walter: Der Dom zu Speyer, 3 Bde. (Die Kunstdenkmäler von Rheinland-Pfalz, Bd. 5), Berlin/München 1972.
- (45) Viollet-le Duc, Eugène: Dictionnaire raisonné de L'Architecture Française du XIe au XIXe Siècle, 10 vols., Paris 1854–1868, bes. „Construction“, vol. IV, p. 175–176.
- (46) Bonde, Sheila/Maines, Clark/Mark, Robert: Archaeology and Engineering: The Foundations of Amiens Cathedral, in: Kunstchronik 42,2, 1989, S. 341–348.
- (47) Phillips, Derek: Excavations at York Minster – The Cathedral of Archbishop Thomas of Bayeux, II, London 1984.
- (48) Binding, Günter/Nussbaum, Norbert: Der mittelalterliche Baubetrieb nördlich der Alpen in zeitgenössischen Darstellungen, Köln 1978.
- (49) Stempel, Aloys: Die Rettung des Mainzer Domes, Mainz 1928.
- (50) Booz, Paul: Der Baumeister der Gotik, München 1956.
- (51) Stanzl, Günther: Die Klosterruine Disibodenberg, Neue baugeschichtliche und archäologische Untersuchungen, Worms 1992.
- (52) Backes, Magnus: Zur Baugeschichte der Klosterkirche Maria Laach, in: Koldewey-Gesellschaft. Bericht über die 37. Tagung für Ausgrabungswissenschaft und Bauforschung 1992, S.72.
- (53) Schuller, Manfred u. a.: Der Dom zu Regensburg, Ausgrabung, Restaurierung, Forschung (Ausstellungskatalog), München 1989.

chen auf Fels, und er streift die Frage des Zusammenhangs zwischen Baugrundproblemen und Archäologie. Da das zugrundeliegende Referat auch Einleitung für die Ausführungen von F. Schneller zu sein hatte, folgen am Schluß einige Angaben zum Castello Mesocco und zur Ruine Schalun.

Die Burgruine von Norantola liegt im Misox, dem südlichen Zugang zum San Bernardinopaß. Der Burghügel und das bewegte Umland sind durch einen nacheiszeitlichen Bergsturz entstanden. Vom Turm, der über dem südlichen Abhang steht, ist der äußere Teil mitsamt dem wenig festen Untergrund zu unbekannter Zeit abgerutscht. Der erhaltene