

Typologie und Wirkungsweise historischer Sanitäranlagen

Zu den grundlegenden Bedürfnissen, die von den Sanitäranlagen zu regeln sind, gehören die Versorgung mit Trinkwasser, die Entsorgung des Brauch- und Regenwassers und die Beseitigung der flüssigen und festen Abfallstoffe.

Die Sanitäranlagen in der Geschichte des menschlichen Wohnens haben eine technische und eine soziologische Seite. Der technische Aspekt wurde von Bedeutung, als die Menschen begannen, in Städten zu wohnen, d. h. also in zentral versorgten Siedlungen. Da die frühen Gesellschaften hierarchisch gegliedert waren, kamen der größte Komfort und die jeweils neuesten technologischen Errungenschaften vor allem den weltlichen und geistlichen Herrschern zugute. Doch die wechselseitige Abhängigkeit führte im Laufe der Zeit zu Gestaltungen, deren Vorteile auch anderen Bewohnern zuteil wurden.

Für manche Probleme fand man Lösungen, die sich über zwei Jahrtausende kaum veränderten, weil eben der entscheidende technologische Sprung auf die nächste Ebene erst mit dem Auftreten neuer Materialien und Verarbeitungsmöglichkeiten erfolgte. Den höchsten vorindustriellen Standard in dieser Hinsicht erreichten die Römer, deren weltumspannende Herrschafts- und Verwaltungsstruktur

mit der großen Zahl urbaner Zentren sowohl im öffentlichen als auch im privaten Sektor der Wasserversorgung und -entsorgung Maßstäbe setzte, die vielfach erst in der Neuzeit übertroffen wurden.

Doch die technischen Vorstufen für Roms Leistung reichen weit in die Geschichte zurück.

Vorstufen römischer Hydro-technik in Kleinasien und der Mittelmeerwelt im 1. Jahrtausend v. Chr.

Grundsätzlich bestand auf dem im 1. Jahrtausend v. Chr. erreichten technologischen Niveau bei den Städten sowohl in der Ebene als auch auf den Bergen die Möglichkeit, das *Grundwasser* durch genügend tiefe Brunnen zu nutzen, das *Regenwasser* in Zisternen zu speichern, beide Nutzungen zu kombinieren oder *Quellen* zu unterhalten.

Brunnen und Zisternen

In der Bergstadt Pergamon hat man an der kleinasiatischen Westküste auf einer Fläche von 8 ha insgesamt 107 Zisternen gefunden¹. Die meisten liegen im Inneren von Wohngebäuden. Sie sind birnenförmig aus dem Fels geschlagen, hatten ein Fassungsvermögen von etwa 50 bis 130 m³ und

waren innen mit Kalk-Tuffmörtel oder Ziegelsplittmörtel abgedichtet. Der Zulauf erfolgte über Tonrohre von den Dächern; zur Überschußverteilung waren viele untereinander verbunden. Die Birnenform blieb über Jahrhunderte erhalten, wie eine durch Felsbruch halbierte mittelalterliche Zisterne auf der Burgruine Altdahn in der Pfalz zeigt².

Als die Großstadt Karthago gegen Ende des 3. Jahrhunderts v. Chr. die entscheidende Auseinandersetzung mit dem römischen Erzfeind erwartete, wurden in allen Häusern zusätzlich zu den älteren Brunnen mehrere Zisternen eingebaut³. Diese so genannten *Schlauchzisternen* sind wegen ihrer schmalen Form ein Unikum und finden sich nur im phönizisch-punischen Kulturkreis (Abb. 1). Sie waren bis zu 6 m tief, äußerst geschickt in die schmalen Räume eingepasst, miteinander verbunden und fassten im Durchschnitt 10 000 Liter. Die 80 bis 120 cm Breite konnten mühelos mit Steinplatten flach oder in Dachform überspannt werden. Die Wände sind aus Bruchsteinen mit Kalk-Holzkohle-Mörtel aufgebaut, außen gegen fetten Lehm gesetzt; Innenwand und Schulter deckt ein knapp 3 cm dicker, außerordentlich feiner, mit der Eisenkelle glatt geschliffener grauer Kalkmörtel, dem gemahlene Keramikscherven und Holzkohlenasche beigemischt waren. Wasserdicht wurde er durch die Zuschläge und das abschließende, so genannte Schwarzglätten, eine viel ältere Technologie⁴. Manche dieser Zisternen haben die Römer 100 Jahre nach der Zerstörung beim Wiederaufbau Karthagos neu verputzt und weiterbenutzt; teilweise fand man Zisternen, die noch in byzantinischer Zeit, also nach 700 Jahren, als Wasserspeicher in Verwendung gewesen waren.

Daraus wird ersichtlich, wie technische Lösungen eines und desselben Problems in anderen Regionen völlig eigenständig gefunden werden. Denn die römischen Zisternen sind von Anfang an gewölbt. Die Punier jedoch waren mit der Wölbung nicht vertraut. In anderen Fällen deckte man den Wasserbedarf aus geteufte Brunnen. In Athen beispielsweise wurden



Abb. 1. Doppelzisterne in einer der großen Küstenvillen des punischen Karthago, Tunesien, 2. Jahrhundert v. Chr. Innenwandung und Schulter der Zisterne sind mit Kalkmörtel bedeckt, der durch die Beimengung von Holzkohlenasche und Glattschliff wasserdicht gemacht wurde, dabei den zementgrauen Farbton erhielt; darüber haftet ein heller Kalkmörtel von der römischen Wiederverwendung der Zisterne. Die seitlichen Korridors, in dessen Boden die Zisterne nachträglich eingeschlitzt wurde, sind in römischer Zeit zur Gewinnung von Baumaterial ausgebaut, die Raubgruben anschließend verfüllt worden (Foto: Verf.).

tönerne Brunnenringe durch unteres Aushöhlen bis auf das Grundwasser abgesenkt⁵. Zunächst waren Brunnen für mehrere Benutzer die Regel. In Athen und Attika gab es Gesetze, die den Umkreis der Benutzer auf ca. 500 m festlegten; darüber hinaus musste ein neuer Brunnen gegraben werden.

Die Nutzung von Quellen

Frischwasserfreileitungen

Die Versorgung aus stehendem Gewässer wurde unzureichend, wenn die Siedlung eine gewisse Größe und Bevölkerungszahl überschritten hatte. Der nächste technologische Sprung bestand in der *Zuleitung von Quellwasser*.

In Kleinasien sind wegen der geologischen Situation an vielen Orten in den Fels gearbeitete *Rinnen* zur kontrollierten Ableitung des Oberflächenwassers und vor allem als Wasserzuleitungen erhalten, die Quellwasser oft über mehrere Kilometer heranzuführen. Die Kunst der Gefälleberechnung und Ausführung von Freispiegelleitungen und offenen Felsgalerien war am Beginn des 1. Jahrtausends v. Chr. bereits voll entwickelt.

Auch im Bergland Judäas gibt es frühe Beispiele dafür. So gehörten zum Palast König Salomons (1018 bis 978 v. Chr.) in Jerusalem mehrere, auf verschiedenen Terrassen liegende *Teiche* als Zwischenspeicher, mit Ausmaßen von 120 auf 71 m und 8 bis 19 m Tiefe, für die aus dem Fels geschlagene *Rinnen* das Wasser aus den Bergen herbeibrachten. Über ein Wasserschloss konnten entweder die Teiche oder der Palast und danach auch die Städte Jerusalem und Bethlechem versorgt werden⁶.

In Griechenland waren die öffentlichen Brunnen entweder direkt an eine Quelle oder an solche Leitungen angeschlossen und in Brunnenhäusern untergebracht, deren Aussehen zahlreiche *Vasenbilder* überliefern, während die archäologischen Befunde oft unanschaulich und schwer lesbar sind⁷. Vom schlichten Laufbrunnen bis zu säulengeschmückten Gestaltungen, mehreren Wasserspeichern und einem Auffangbecken waren sie ein vertrautes Bild griechischer Städte. Im Hellenismus entstanden die ersten skulpturengeschmückten *Brunnenanlagen*, die Vorläufer der römischen Nymphäen.

Qanate und Tunnel

Wohl schon gegen Ende des 2. Jahrtausends v. Chr. wurde im Iran mit dem *Qanat*system eine Möglichkeit gefunden, tiefliegende Grundwasserhorizonte zu nutzen⁸. Die Methode bestand darin, zunächst durch einen Mutterschacht die notwendige Tiefe zu erkunden, dann Richtung und Zielort oberirdisch abzustecken und Schächte bis auf die wasserführende Schicht abzuteufen. Auf der Sohle wurden der Vortrieb in beiden Richtungen und das gleichmäßige Gefälle des Tunnels von etwa 1 % kontrolliert. Über diese Kontroll- und Bewetterungsschächte, die bis zu 50 m (manchmal sogar mehrere 100 m) tief sein konnten, wurde auch der Aushub nach oben geschafft. In den Trockenzonen des Vorderen Orients mit seinem sandig-tonigen Untergrund findet man diese Methode überall; durch die Araber wurde sie bis nach Nordafrika und Spanien verbreitet. Noch heute kann man im Nahen Osten und im Maghreb in Benutzung stehende Qanate sehen.

Die Methode ist auch im felsigen Grund üblich gewesen und erlaubte die Anlage von weitverzweigten, zum Teil zweistöckigen unterirdischen Wasserleitungen, wie derjenigen von Athen im 6. Jahrhundert v. Chr., bei der sogar zweimal das Bachbett des Ilissos unterfahren wurde⁹. Die Wasserführung aber erfolgte immer durch *Tonrohre* auf der Sohle der Felsstollen. In den folgenden Jahrhunderten hatten die *Etrusker* in Mittelitalien das Verfahren der Qanat- oder Bauschächte bei ihren *cuniculi* im Tuffgebiet perfektioniert, um Kraterseen abzusinken, so in Ariccia, Nemi, Albano; die *Römer* übernahmen und verbreiteten es schließlich auch nördlich der Alpen¹⁰.

Kurze *Treppenstollen*, um ans Quellwasser zu gelangen, kennt man schon aus mykenischer Zeit, so in Athen und Mykene¹¹. In jedem Fall war die Erreichbarkeit des Wassers bei feindlicher Belagerung ein wichtiges Motiv für den Bau solcher Anlagen.

In den Bergstädten war man bestrebt, am Hang liegende Quellaustritte zu sichern oder zu sperren, um bei Belagerung den Feind vom Wasser abzuschneiden und selbst vom Hügelplateau aus gedeckt die Quelle zu erreichen. Meister in dieser Technik waren die Israeliten. Die ersten Beispiele von langen *Felstunneln* liegen in Israel¹². Der Hiskia-Tunnel in Jeru-

salem wurde um 700 v. Chr. angelegt, um eine Quelle vor ihrem Austritt am Hang abzufangen und zu einem Teich innerhalb der Stadt umzuleiten. Das Werk wird sogar in der Bibel mehrmals erwähnt und entstand, als man einen assyrischen Angriff erwartete. Eine wichtige Rolle für den Erfolg der Tunnelbautechnik im Fels lag in der Einführung von Werkzeugen aus *Eisen*, die sich etwa um die Wende vom 2. zum 1. Jahrtausend v. Chr. vollzog.

Den Griechen mit ihrem Hang zu Naturwissenschaft, Mathematik und Geometrie ist mit dem *Eupalinostunnel* auf der Insel Samos eines der bemerkenswertesten technischen Denkmale dieser Art zu verdanken¹³. Dieser Tunnel war schon in der Antike weltberühmt. Über 1036 m lang hat ihn Eupalinos, der Ingenieur-Baumeister des Polykrates, am Ende des 6. Jahrhunderts v. Chr. durch den 227 m hohen Berg Kastro schlagen lassen. Bemerkenswert ist vor allem, dass er von zwei Seiten des Berges im Gegenortvortrieb aufgeföhren wurde. Dabei musste man auch noch einer Problemstelle im Inneren des Berges durch einen Haken ausweichen – eine vermessungstechnische Meisterleistung, die nur durch sorgfältige Planung, eine exakte Zeichnung und die Übertragung mittels rechtwinkligen Polygonzuges ins Gelände möglich war¹⁴. Zahlreiche Spuren und Messmarken an den Tunnelwänden erlauben Einblicke in Planung und Ausführung, die zehn Jahre dauerten. Der Querschnitt betrug 1,8 auf 1,8 m, das Wasser floss durch Tonrohre.

Druckleitungen

Um Wasser von Brunnen oder tieferen Kanälen in höhergelegene schaffen zu können, hat man seit den Anfängen in Ägypten und Mesopotamien *Wasserheber*, *Wasserräder* und *Wasserschnecken* verwendet. Doch erst mit der Entdeckung der hydrostatischen Gesetze, insbesondere des Siphonprinzips, und der Konstruktion des *Dückers* mit verbesserten Druckleitungen war es möglich, Wasser durch ein Tal auf einen Berg zu bringen – ein weiterer technologischer Sprung.

Den Höhepunkt in antiker Zeit stellt die um 200 v. Chr. geschaffene *Madrada-Leitung* in Pergamon dar; sie ist hinsichtlich Planung und Ausführung die großartigste hydro-



Abb. 2. Doppelsitzige Badewanne und Waschbecken in der punischen Stadt Kerkouan am Cap Bon bei Tunis, 3. Jahrhundert v. Chr. Wanne, Becken und Fußboden sind einheitlich mit wasserdichtem rotem Mörtelstrich ausgekleidet, vor der Wanne mit einem Streumuster aus weißen Marmorsteinchen geschmückt. Über die mit einem Abfluss versehene kleine Schale in der Wand, die ursprünglich in einer Nische lag, konnte von außen Wasser nachgefüllt werden (Foto: Verf.).

technische Leistung mit Druckrohren zur Stadt und zum Palast auf den 300 m aus der Ebene aufragenden Berg¹⁵. Die gesamte Leitung ist 15 km lang; sie durchquerte zwei Täler mit ihrem tiefsten Punkt 190 m unter der Einlaufkammer, bevor sie eine große Zisterne auf dem Burgberg speiste. Man hat eine Schüttung von ca. 2700 m³ pro Tag errechnet. Während die drei *Tonrohrstränge* der Zuleitung mit einer quellfähigen Dichtungsmasse aus Ton und Sand gedichtet und diese zusätzlich durch Erdpech hydrophob gemacht wurden, bestanden die Rohre der *Druckleitung* vermutlich aus Blei. Sie hatten einen Innendurchmesser von 20 cm bei einer Wanddicke von 5 cm und lagen auf steinernen Platten; die Muffen steckten mit 1,2 m Abständen in aufrecht stehenden Lochsteinen. Die Druckbeanspruchung entsprach einer Wassersäule von fast 200 m, was alles bis dahin Gewagte um das Doppelte übertraf.

Baderäume

Badezimmer und Wannen gehörten schon in den vorderorientalischen Kulturen des 3. Jahrtausends v. Chr. zur Standard-Ausrüstung der Paläste. So verwundern eigentlich kaum die erheblich späteren Sanitäreinrichtungen der assyrischen Palastanlagen in Nordsyrien aus dem 8. Jahrhundert v. Chr. Der Palast in Arslan Tasch – mit einer Fassadenlänge von 150 m gewiss eine der großen Anlagen – enthielt nicht weniger als fünf Badezimmer¹⁶. Deren Ausstattung war bemerkenswert. Der wasserdichte *Fußboden* bestand aus einem Gips-

estrich mit Bitumenüberzug. Bitumen kannten die Assyrer aus natürlichen Vorkommen in Mesopotamien. Im Boden war eine große *Steinplatte* (168 auf 102 cm) als Standplatz für die Badewanne aus Bronze eingelassen; in einer Nische fand man einen *Ablaufstein* mit Abflussloch in der Mitte und Tonrohr nach außen, die Standspuren eines *Waschtisches* und daneben im Boden eine Vertiefung für ein herausnehmbares, bronzenes *Fußwaschbecken*. In Tell Halaf, einem anderen Palast dieser Zeit¹⁷, bestand der *Fußboden* des Badezimmers aus Asphalt mit Kies. Um Wasserschäden am Mauerwerk zu vermeiden, war der Estrich am Mauerfuß noch 30 cm hochgezogen. Zusätzlich hatte man unter dem Fußboden eine Schicht Ziegelplatten in Asphalt verlegt. Dem Badezimmer angeschlossen war ein *Ruheraum* mit gemauerten Bänken, was sich im heutigen orientalischen Hamam erhalten hat.

Im 3. Jahrhundert v. Chr. war solcher Hygiene-Standard nicht mehr nur ein Privileg der reicheren Adelsschichten, sondern z. B. auch in einer punischen Küstenstadt wie Kerkouan am Cap Bon in Nordafrika anzutreffen. In dieser planmäßigen Anlage hatte jedes Haus eine Zisterne oder einen Brunnen mit Schöpfschacht, in die über einen runden, flachen Auffangstein das Regenwasser vom Dach eingeleitet wurde. Am eindrucksvollsten allerdings sind die *Badezimmer* mit gemauerten, wasser- und raumsparenden Sitzbadewannen, von denen einige aus dem Nebenraum durch eine Wandöffnung vom Sklaven mit

neuem Warmwasser beschickt werden konnten (Abb. 2). Der Boden und die Wanne waren mit einem wasserdichten, roten, glatt geschliffenen *Estrich* aus Kalkmörtel mit Ziegelklein bedeckt; der Wannenboden war mit in den Estrich eingestreuten weißen Kalkstein-Tessellae ästhetisch aufgelockert.

Die Liebe der Griechen zum Sport hatte zwar schon früh in der Palästra und im Gymnasium zum Bau von halböffentlichen, großen *Waschräumen* für den Massenbetrieb geführt. Aber die dauernd fließende *Dusche* aus Wasserspeiern, wie sie die Vasenmaler und beispielsweise die Anlagen mit Wannen und Fußwaschbecken im oberen Gymnasium von Pergamon, ähnlich im Gymnasium von Priene zeigen, war erst mit der Zuleitung von Quellwasser möglich¹⁸.

Doch Quellwasser ist kalt. Bislang hatte man die Annehmlichkeit heißen Wassers nur genießen können, wenn das Wasser im Kessel erwärmt und anschließend zur Wanne gebracht wurde. Die entscheidende Neuerung war die Beheizung des Bodens aus einem *Heizraum* durch einen *Heizkanal*, was man technisch mit der Erwärmung des Wassers verbinden konnte. Die ersten Beispiele von derart ausgestatteten Gemeinschaftsbädern ließen sich in Griechenland, in Gortys aus dem 3. Jahrhundert v. Chr. nachweisen¹⁹. In Olympia, wo wegen der Festspiele viele Menschen zusammenkamen, sind aus verschiedenen Zeiten Reste von Bädern erhalten geblieben, an denen man die Entwicklung verfolgen kann²⁰. In dem runden Baderaum

saß man in Nischen mit Becken und übergoss sich mit dem aus dem Becken geschöpften Wasser; in einem anderen Raum gab es von unten durch den Heizkanal erwärmte, gemauerte *Wannen*, kreisrund im Grundriss war auch das *laconicum*, der Schwitzraum (Abb. 3)²¹.

Kanalisation und Entsorgung

Im 1. Jahrtausend v. Chr. fand die Entsorgung des Brauchwassers im Allgemeinen über die *Straße* oder durch Tonrohre in gemauerte *Sickerschächte* statt. Manchmal waren diese auch mit einem gewölbten *Kanal*, bevorzugt mit Kragsteingewölbe, verbunden²². Geradezu modern muten die Einstromöffnungen unter den Bordsteinen auf den gepflasterten Straßen in Tell Halaf aus dem 9. Jahrhundert v. Chr. an. Der *Abort* in Arslan Tasch aus dem 8. Jahrhundert v. Chr. und im Haus des Ahiel aus dem 7. Jahrhundert v. Chr. in Jerusalem mit dickem Gipsestrich, eingesenkter Bodenplatte und zentralem Abflussloch hat eine Form, die noch heute im Orient üblich ist²³.

Bei den planmäßig angelegten griechischen Städten wurden von vornherein *Kanalgassen* zwischen den einzelnen Häuserblocks zur Ableitung des Regenwassers vorgesehen, z. B. in Olynth, Makedonien, 432 v. Chr. Auch komplette *Kanalsysteme* unter den Straßen gibt es im Hellenismus, so in der Stadt Rhodos²⁴. Die Wohntürme hellenistischer Gehöfte auf dem offenen Land sind mit *Abtritterkern* ausgestattet gewesen, z. B. in Demre/Myra, Türkei (Abb. 4)²⁵.

In der Oberstadt von Karthago aus dem Anfang des 2. Jahrhunderts sind auf den steilen Treppenstraßen in der Straßenmitte *Klärgruben* von birnenförmiger Form in Trockenmauerwerk eingegraben gewesen, in die Tonrohrleitungen aus den Häusern mündeten²⁶. An der Küste, wo die großen Villen lagen, gab es *Sickergruben* im Hof (meist die aufgegebenen älteren Brunnen), in den breiten Straßen allerdings bestenfalls bachartige Gerinne. Das Meer und der sandige Untergrund bewerkstelligten hier die meist anspruchslose Entsorgung²⁷.

In Pergamon luden die *Abwasserkanäle* nach Unterfahren der Stadtmauer ihre Fracht auf dem steilen Felshang ab²⁸. Das war nicht ungefährlich, wie die Geschichte von König David und seiner listigen Eroberung von Jerusa-

Abb. 3. Laconicum (Schwitzraum) im Badehaus des dritten Palastes von König Herodes in Jericho (1. Jahrhundert v. Chr.). Unter dem Fußboden des kreisrunden Raumes verlief der Heizkanal; in den Nischen befanden sich marmorne Sitze. Die ursprünglich mit Marmor inkrustierten Umfassungswände bestehen aus Reticulatmauerwerk, einer aus Mittelitalien importierten Bauweise der augusteischen Zeit mit Mauerschalen aus quadratischen Steinen, die in einer Gitterstruktur verlegt wurden (Foto aus: Ehud Netzer, Die Paläste der Hasmonäer, Mainz 1999, Abb. 52).



lem (um etwa 1055 v. Chr.) zeigt; er benutzte diese Kanalöffnungen zum Eindringen in die Stadt.

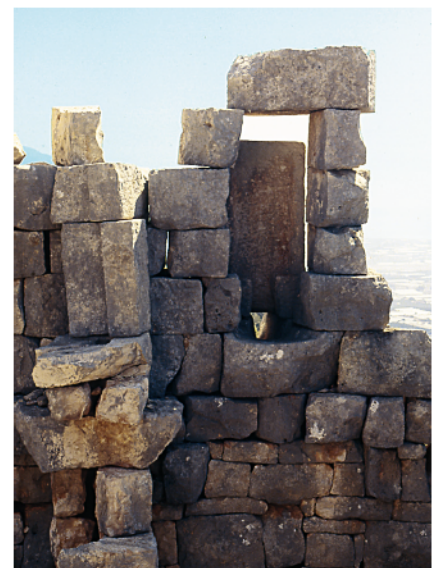
Das Abwassersystem in Jerusalem trennte bereits Unrat von Wasch- und Brauchwasser – eine aufwändige Einrichtung, die aus dem Wasserbedarf für rituelle Waschungen erklärbar ist²⁹. Darüber hinaus gab es Becken, in denen die vom Wasser mitgeführten Sinkstoffe ablagern konnten und als Dünger auf den Feldern Verwendung fanden, während das Abwasser zu den Gärten weiterfloss. Auch in Athen betrieb man mit weit verzweigten Endkanälen aus nur lose gesteckten Tonrohren eine Art von Versicke-

runssystem und nutzte dieses für eine von der Stadtverwaltung verpachtete Rieselfelderwirtschaft³⁰.

Römische Hydrotechnik

Viereinhalb Jahrhunderte lang waren die Römer in ihrer Stadt mit der Wasserversorgung aus Brunnen und aus dem Tiber zufrieden gewesen; erst um 312 v. Chr. bauten sie mit der Aqua Appia die erste Fernwasserleitung. Die Etrusker hatten schon

Abb. 4. Abtrittker in der Außenmauer eines hellenistischen Wohnturmes, 3. Jahrhundert v. Chr. in der Hochebene oberhalb von Demre/Myra, türkische Südküste. Der Wohnturm war Teil eines mauerumgürteten kleinen Gehöftes, wie sie zu dieser Zeit in Griechenland und Kleinasien zahlreich sind. Die Mauerquader sind ohne Mörtel aufeinander geschichtet; der Boden des Abtritts besteht aus einem ausgehöhlten Kalksteinblock mit angearbeiteter Abflussnase (Foto: Verf.).



seit dem 8. Jahrhundert mit den in der Qanat-Bauweise angelegten *cuniculi* zur Wasserversorgung und als Entwässerungskanäle einen großen Erfahrungsschatz eingebracht. Diese Bauweise der *Frischwasserkänäle ohne Tonrohre* übernahmen die Römer. Das andere Merkmal der neuen Technik besteht darin, die Leitungen über *Aquädukte* zu führen. Das war erst möglich, nachdem Rom zum Alleinherrscher aufgestiegen war und in der folgenden Friedenszeit die Gefahr einer feindlichen Unterbrechung dieser Nabelschnur der Städte nicht mehr bestand. Die Aquädukte wurden gleichsam zum Markenzeichen römischer Zivilisation.

Eine weitere technologische Errungenschaft war das *opus caementicium*, ein zweischaliges Mauerwerk, dessen besondere Festigkeit auf den hydraulischen Eigenschaften des Kalkmörtels durch die beigemischte vulkanische Puzzolan-Erde aus der Gegend um Pozzuoli bei Neapel beruht³¹. Den gleichen Effekt bewirkt im Kalkmörtel die Beimengung niedrig gebrannter Tonscherben und von Ziegelsplitt. Mit dieser Technik konnten relativ schnell hoch belastbare und auch seewasserfeste Bauwerke hergestellt werden³².

Aus den Schriften von Vitruv, um 20 v. Chr., und Frontinus, um 100 n. Chr., sowie aus archäologischen Funden und Befunden weiß man über die Elemente römischer Wasserversorgung gut Bescheid. Vitruv vermittelt Überlegungen und Erfahrung des *Militärbaumeisters*; Frontinus als *Generalwasserinspektor* für Rom teilt Details über Planung, Betrieb, Verwaltung und Abrechnung mit³³.

Das Wasser wurde zunächst in *Quellhäusern* mit Auffangbecken oder *Sickerkalerien* gefasst, wie am Nymphäum in Qanawat, Südsyrien; ein näherliegendes Beispiel liefert Kallmuth in der Eifel³⁴. Wasser und insbesondere Quellen waren den antiken Menschen heilig; die Quellnymphen wurden verehrt. Eines der eindrucksvollsten *Quellheiligtümer* ist noch heute in Nordafrika, in Zaghuan (Tunesien) zu besichtigen; es war der Initialort der Wasserleitung nach Karthago³⁵. Im Scheitel lag ein kleiner Tempel; eine gewölbte Säulenportikus umgab die U-förmige Felswand, aus der von mehreren Quellen der Zustrom in das doppelrunde *Tosbecken* geleitet wurde. Durch seine spezielle Form

wurde die Anfangsenergie des Wassers reduziert, wonach es gefahrlos in die zunächst unterirdisch verlaufende Leitung eingespeist werden konnte. Gegenüber den Tonrohrleitungen hatten die Kanäle den Vorteil größerer Fördermenge und besserer Entlüftung. Auch wurden Funktionsstörungen und Einbußen durch Versinterung zumindest verzögert. Die Kanäle waren in der Kaiserzeit durchweg aus *opus caementicium* gefügt; ein durchschnittliches Querschnittsmaß beträgt 1,20 m Höhe auf 1,20 m Breite. Über einem Lehrgerüst oder Fertigteilen aus Tonplatten hat man sie gewölbt. Abdrücke und Auflager sind noch gut zu erkennen³⁶. Innen sorgte ein *Mehrschichtputz* aus Kalkmörtel mit fein zerstoßenem Ziegel, das so genannte *opus signinum*, für die Wasserdichtigkeit³⁷.

Bei der Trassenfestlegung des *specus*, also des Kanals, fuhr man in der Regel lieber Täler weiträumig aus, als kostspielige Aquäduktbrücken zu errichten (Abb. 6). Welche hohe Präzision beim Nivellieren auch über weite Strecken und bei schwierigster Topografie die Römer erreichten, ist angesichts der einfachen Instrumente *Groma* und *Chorobates* beachtlich³⁸. Das *Gefälle* des Kanals wechselte allerdings, betrug aber mitunter nur 0,03 %, also 30 cm auf 1 km. War dennoch, etwa bei einer späteren Streckenverkürzung, ein starkes Gefälle zu überwinden, dann hat man gestaffelte, bis zu 6 m tiefe Schächte als *Gefällebremsen* gebaut³⁹. *Dekantationsbecken* an verschiedenen Stellen und *Revisionsschächte* zur Reinhaltung von Wasser und Leitung sowie *Umlenkbecken* waren übliche Praxis⁴⁰.

Die Druckleitungen der Römer unterscheiden sich von den griechischen dadurch, dass Talstrecken meist auf horizontalen Wasserbrücken überwunden und die großen Kanalquerschnitte bei Gefällestrecken in mehrere Rohrfahrten aufgeteilt wurden⁴¹. Außerdem legten sie bei Knickstellen bis zu 30 m hohe *Türme* an, die offene Becken zum Druckausgleich trugen; das eindrucksvollste Beispiel dafür sind die Ruinen des Aquädukts von *Aspendos* (Abb. 7)⁴². Häufig findet man bei Druckleitungen auch *Steinrohre*⁴³, deren Muffen mit einem quellfähigen Ätzkalk-Öl-Gemisch gedichtet waren; doch in der Regel verwendete man *Bleirohre*. Diese wurden nicht mehr gegossen, sondern

aus flachen Platten um einen Kern gebogen und dann zusammengelötet. Dadurch konnte die Wanddicke von 4 cm auf 6 mm reduziert werden. Die Naht hielt bei Versuchen einem Druck bis zu 17 atü stand⁴⁴.

Obwohl normalerweise der größte Teil der Leitungen unterirdisch verlief, sind die Bogen der Aquädukte zum Charakteristikum römischer Wasserleitungen geworden. Das hängt auch mit der antiken Vorliebe zusammen, Städte auf Hügeln anzulegen; es mussten Talsenken überwunden werden. Die Vorteile der Aquädukte waren Unabhängigkeit vom Geländere relief, lineare Streckenführung und Erschließung auch weit entfernter Quellgebiete. Flache Teilstrecken wurden meist als durchgehende *Mauerzüge* konstruiert. Bei einer Höhe der Stützkonstruktion unter dem Kanal von mehr als 4 bis 5 m wurden Bogenbrücken gebaut. *Brückenlängen* von mehreren 100 m sind keine Seltenheit. Die insgesamt 132 km lange Wasserleitung nach Karthago hat eine Aquäduktstrecke von 4,5 km (Abb. 5)⁴⁵. Da die Leitung immer in verschiedenen *Baulosen* an mehrere Unternehmer vergeben wurde, wird das hohe Maß an Vorplanung, Organisation und Baukontrolle vorstellbar, die hinter solchen Bauvorhaben steht. Diese gelangen nicht nur, sondern überdauerten auch Gewährleistungsfristen, von denen man nur noch träumen kann. Für die Wasserleitung nach Nîmes hat man aufgrund der Sinterablagerungen eine Benutzungszeit von 470 Jahren ermittelt⁴⁶; der Aquädukt von Karthago aus der Zeit um 120 n. Chr. wurde im 13. Jahrhundert instand gesetzt und war noch im 19. Jahrhundert teilweise in Benutzung.

Anfänglich waren die Aquädukte niedrige und mörtellose *Quaderkonstruktionen*, die aber immer kühner wurden, wie der Aquädukt von Segovia zeigt⁴⁷. Später bevorzugte man eine Mischbauweise oder ausschließlich *Caementicium*, womit die höchsten dieser Bauwerke gelangen. Der berühmte Pont du Gard bei Nîmes erreicht mit drei Geschossen eine Höhe von 48,77 m über dem Wasserspiegel⁴⁸. Es gibt allerdings auch Brücken, wie beim Aquädukt nach Karthago, die bis zu einer Höhe von 22 m mit nur einem Geschoss und bis 32 m mit nur zwei Geschossen auskamen (Abb. 5). Manchmal, wie in Caesarea mauretania, bildet eine

Abb. 5. Aquädukt Pfeiler der Wasserleitung von Zaghouan nach Karthago bei Oued Milliane, Tunesien, um 120 n. Chr. Die 18 m hohen Pfeiler bestehen aus *Opus caementicium* mit Quaderverkleidung; an den Laibungen sind die Auflagersteine für die Baugerüste zu sehen. Dank dieser Bauweise konnten an der tiefsten Stelle der langen Talsenke die Pfeiler bis auf eine Höhe von 22 m ohne Zwischengeschoss empor geführt werden (Foto: Verf.).

10 m niedrige Brücke den Sockel, auf dem 20 m hohe, schlanke Pfeiler den *Specus* tragen; nachträglich fügte man hier allerdings Strebebögen ein, was verständlich wird, wenn man die Knicklängen betrachtet⁴⁹.

Der ständig fließende Wasserzustrom erforderte an seinem Ende große Speicherbauten. Eindrucksvolle Beispiele dieser *Großzisternen* kennt man aus Karthago⁵⁰, so die im Vorort La Malga mit 15 Gewölbejochen zur Wasserversorgung der Stadt und die in Bordj Djedid für die Antoninsthermen mit ca. 30 000 m³. Diese Zisternen waren durch Treppen begehbar, wurden regelmäßig geleert und gereinigt. Berühmt ist die *Piscina Mirabilis* in Bacoli bei Neapel zur Versorgung der Kriegsflotte⁵¹. Häufig versorgten die Fernleitungen über Abzweigungen noch weitere Abnehmer, so dass selten der gesamte Wasserausstoß im Großspeicher ankam. Die größten Bauten in dieser Hinsicht hatten die Thermen Roms, z. B. das zweistöckige Riesenreservoir der Caracallathermen, das 80 000 m³ fassen konnte.

Besonders wichtig waren diese Vorratsspeicher, wenn in ariden Zonen das Wasser nur im Winter floss, wie beispielsweise in der syrischen Wüstenstadt Resafa. Aus dem Oued, das sich bei heftigem Winterregen

Abb. 7. Westlicher Turm des Aquädukts nach Aspendos in der Südtürkei, 2. Jahrhundert n. Chr. An den beiden Enden der 924 m langen, geraden Druckstrecke der Wasserleitung durch ein Tal wurde an den Knickpunkten einer Richtungsänderung der Trasse je ein 30 m hoher Turm mit einem offenen Becken zum Druckausgleich und zur Entlüftung errichtet, von wo die steinerne Druckleitung in ein Nymphäum und ein Wasserkastell auf die Akropolis der Stadt emporführte (Foto: Verf.).



Abb. 6. Wasserleitung bei Limonlu in der Südtürkei, 2. Jahrhundert n. Chr. Das Wasser des antiken Lamos (Lamas-Cayi) wurde direkt an der Quelle gefasst, zunächst in einer offenen Felsgalerie, dann in einem gemauerten und gewölbten Kanal den Hang entlanggeführt und überquerte auf einer zweistöckigen, 20 m hohen Aquäduktbrücke die Schlucht nach Südwesten zu den beiden Küstenstädten Korykos und Elaioussa Sebaste (Foto: Verf.).





Abb. 8. Nymphäum am Ende der Säulenstraße von Perge, Südtürkei, 2. Jahrhundert n. Chr. Die Fassade des Nymphäums am Fuße der Akropolis war etwa zweieinhalbmal so hoch wie die heutige Ruine und 21 m breit; aus dem Brunnenhaus in der Mitte strömte das Wasser unter der liegenden Figur eines Flussgottes in einem 2 m breiten Schwall hervor, ergoss sich in ein darunterliegendes großes Becken, von wo es in den von mehreren Kaskaden unterbrochenen Mittelkanal der 20 m breiten Prachtstraße weiterrauschte (Foto: Verf.).

schnell füllte, führte eine Zuleitung zu mehreren unterirdischen Speichern – der größte mit 13 m Wassertiefe für 15 000 m³ – und gewährleistete die Versorgung über ein Jahr lang (Abb. 9). Häufig wurden große Wasserspeicher auch unter Plätzen vor Heiligtümern angelegt. Qanawat in Südsyrien ist ein konstruktiv interessantes Beispiel, und zwar wegen der Deckung durch flache Steinbalken über Bogen und der Nutzung des beim Aushöhlen des Felsgrundes anfallenden Steinmaterials für den Bau des Tempels.

Im alt-italischen Haus lag die Zisterne meist unter dem *Impluvium* des Atriums, wo das Regenwasser vom Dach gesammelt wurde. Das behielt man auch beim Peristylhaus bei, wo offene *Schmuckbecken* über den Zisternen außerdem für kühle Atmosphäre im Sommer sorgten (Utica, Bulla Regia in Nordafrika). Die großen römischen Stadtvillen hatten Hauszisternen von z. T. beachtlichen Dimensionen: Die Zisterne in der Villa des Sallust in Rom ist zweistöckig, 39 m lang und 4,30 m breit⁵².

Sehr differenziert war das innerstädtische Leitungsnetz. Verteilerbauwerke standen an den höchsten Stellen der Stadt. In Nîmes ist das Wasserschloss, das so genannte *castellum divisorium*, ein kreisrundes *Bassin* mit 5 m Durchmesser und 1,4 m Tiefe, von dem das Wasser durch zehn Rohrstützen aus Blei in die einzelnen Leitungsstränge der Stadt verteilt wurde⁵³; der Überschuss lief in die Kanalisation. Innerhalb der Stadt gab es *Wassertürme* mit Hochbecken, wie sie in Pompeji gut erhalten blieben⁵⁴. Von diesen Verteilertürmen wurde das Wasser über

einzelne Bleirohrfahrten nach einem durch den Querschnitt bestimmten Schlüssel den Abnehmern zugeteilt. Das war so geregelt, dass zuerst die Laufbrunnen, dann die öffentlichen Bäder und schließlich die Privatvillen Wasser erhielten⁵⁵. Die großen Thermen hatten eigene Hochbehälter, die zahlreichen öffentlichen *Laufbrunnen* zum Schöpfen für den Hausgebrauch ein Becken und waren zumeist am Fuß der *Verteilertürme* angebracht. Der Überlauf diente zugleich der Straßenreinigung.

Nach Berechnungen konnte das Wasserschloss an der Porta del Vesuvio von Pompeji etwa 75 Liter pro Sekunde verteilen; damit standen bei einer Bevölkerung von ca. 8 000 Einwohnern jedem Bewohner maximal 800 Liter pro Tag zur Verfügung. Zum Vergleich: Für Deutschland rechnet man derzeit mit einem Durchschnittswert von 150 bis 200 Litern. „Eine reichliche, ja verschwenderische Wasserversorgung einer römischen Provinzstadt, technisch gut durchdacht und effizient“, wie L. Eschbach bemerkte⁵⁶.

Die Wasserversorgung Roms, des Reichszentrums mit einer Bevölkerungszahl von etwa einer Million Einwohnern, übertraf alles. Bei Tor Fiscale am Stadtrand kommen beispielsweise fünf Leitungen zusammen⁵⁷. Insgesamt elf Wasserleitungen förderten jeden Tag die unglaubliche Menge von 600 000 m³ besten Quellwassers aus den Bergen⁵⁸. Dementsprechend gab es elf Thermen und 486 öffentliche Bäder. Allerdings erfolgte der kontinuierliche Zufluss in einem stetigen Strom und war nicht

regulierbar; das nicht genutzte Wasser wurde über die Kanalisation dem Tiber zugeleitet.

Die größten Verbraucher waren die Thermen, die öffentlichen Bade- und Freizeitanlagen⁵⁹. Hier war das komplexe System der Wasserzuleitung am besten organisiert worden. Aber auch die großen Abwasserkanäle aus dem Badebetrieb und die Abführung des Oberflächenwassers von den gewaltigen Dachflächen erforderten eine sorgfältige Planung, Durchführung und Wartung, in der es die Römer zu unerreichter Meisterschaft gebracht haben.

Neben dem ständig frischen Nachschub von Wasser waren es die *Hypokausten*, insbesondere die *Pfeilerhypokausten*, die den Fußboden, das Wasser der Wannen, auch mit der *Tubulatur* der Wände und damit die gesamte *Raumhülle* zu temperieren ermöglichten, was diese Thermen zu einem technologischen Sprung und zivilisatorischen Fortschritt machten⁶⁰. Mit der *Wölbetechnik* aus *Caementicium*⁶¹ ließen sich *Fenster* von bis zu 8 m Höhe herstellen, die das besondere Lichtelebnis schufen, wie es von römischen Schriftstellern immer wieder gerühmt wird⁶². Auch *Doppelfenster* waren bekannt, was in den nördlichen Provinzen von großem Vorteil war.

Der komplexe *Architekturtypus* der Thermen folgte einem einfachen funktionalen Grundprinzip: von kalt zu lauwarm und heiß. Den verschiedenen Funktionen waren Räume zugeordnet, deren Formen im Laufe der Zeit kanonisch wurden und im großen, doppel-symmetrischen Kaiserthermentypus,

Abb. 9. Hauptzisterne der Wüstenstadt Resafa in Syrien, 6. Jahrhundert n. Chr. Beim Ausbau der Grenzbefestigungen unter Kaiser Justinian wurden mehrere große Zisternen aus dem felsigen Untergrund geschlagen, das dabei gewonnene Steinmaterial wurde zum Bau der Stadtmauer verwendet. Die Tonnengewölbe zwischen Gurtruppen sind aus Ziegeln in einer zu dieser Zeit nur in Konstantinopel gebräuchlichen Wölbtechnik hergestellt; der Zufluss an der Schmalseite wurde durch einen Kanal aus dem im Winter wasserführenden Wadi gespeist (Foto: Verf.).



wie den Caracallathermen und den namensgebenden Kaiserthermen in Trier, ihre reichste räumliche und architektonische Ausprägung erfuhren (Abb. 10)⁶³. Das rechteckige, kreuzgewölbte *Frigidarium* mit Kaltwasserbecken, das oft tonnengewölbte *Tepidarium* und schließlich der meist runde, kuppelgewölbte Heißraum, das *Caldarium*, schufen mit ihrem verschwenderischen Ausstattungsluxus in vielfarbiger Marmorverkleidung, mit den Statuen und hohen Fenstern ein Raum- und Badeerlebnis, das zusammen mit den angeschlossenen Räumen der verschiedensten Funktionen (Schwitzkammern, Salb- und Massagezimmer, Ruheräume) bis hin zu Höfen und Wandelhallen, Gymnasien und Palästen, Bibliotheken und Vorlesungssälen, Triklinien und Bankettsälen eine umfassende Symphonie römischer Kultur und Lebensart schufen⁶⁴.

Technisch bemerkenswert ist die *Zweigeschossigkeit* mit strikter Trennung des Rekreationsbereiches vom Dienstbereich: Die unterirdische und verdeckte Führung des Heizsystems der *Praefurnien*, also der Feuerstellen, deren Bedienung und Nachschub an Holz, sowie die außerordentlich effiziente Zu- und Abwasserleitung waren planerisch und logistisch entscheidend. Die Raum- und Wassertemperatur gleichmäßig angenehm und ohne Dampfschwaden zu halten, stellte eine technische Herausforderung dar. Große Wasserkessel aus Bronze (z. B. in Trier, Barbarathermen mit einer Höhe von 12 m und einem Durchmesser von 3 m)⁶⁵ sorgten nach dem Boilerprinzip für

die nötige Menge Heißwasser, dessen Leitung ins *Caldarium* und *Tepidarium* durch Bleirohre in schützenden Tonrohrstützen in den Wänden und bronzene Wasserspeier gesichert war. Am anderen Ende des Badebetriebes konnte man in großen Freiluftbassins schwimmen.

Öffentliche Bäder unterschieden sich von diesen Badepalästen vor allem durch das Fehlen der umfangreichen Zusatzeinrichtungen; die funktionale Dreiteilung blieb die gleiche. Das trifft auch für die Bäder in den Provinzen des Reiches zu⁶⁶. Die römische Verwaltungs- und Militäraristokratie ebenso wie die Patrizier der Städte und die Gutsherren der *Villae rusticae* auf dem Lande wollten weder in der syrischen Wüste noch im kalten Norden Britanniens auf die Annehmlichkeit eines solchen Bades und der Zurschaustellung römischer Zivilisation verzichten.

Der Stolz der Römer auf diese zivilisatorische Errungenschaft drückte sich unter anderem in öffentlichen *Nymphäen* aus, die eine eigene Architekturgattung bilden und gewissermaßen die architektonische Inszenierung des Wassers darstellen. Sie lagen oft an Endpunkten von Wasserleitungen, wie das schon erwähnte von Zaghuan, oder in Heiligtümern, wie in Olympia⁶⁷, und ihr Rauschen in den Straßen war die ständige Musik antiker Städte, wie es in Perge (an der türkischen Südküste) mit seiner Kaskade und dem in der Mitte der Säulenstraße plätschernden Canopus am besten nachempfunden werden kann (Abb. 8). Die Grottentriklinien in den Villen des Adels oder des Kai-

sers (Tivoli, Villa Hadriana) verbanden den Genuss der Kühle mit einem Zitat des felsigen Ursprungsortes der Nymphen⁶⁸.

Die reiche Vielfalt an Springbrunnen und Wasserbecken in den Villen der Aristokratie lässt vermuten, dass auch die *Installationen* für damalige Verhältnisse auf hohem Stand waren. Die Funde in Pompeji zeigen allerdings, dass die Bleirohre von den Wasserverteilern zu den Abnehmern oft ziemlich sorglos verlegt worden waren. Und das Fehlen von Wasserleitungen in den oberen Geschossen mehrstöckiger Mietshäuser in den ärmeren Vierteln Roms und in Ostia mag neben Desinteresse und hohen Kosten auch der Störanfälligkeit der Technik geschuldet sein. Bei den gefundenen *Absperrhähnen* aus gegossener Bronze verblüfft die Ähnlichkeit mit modernen Armaturen⁶⁹. Obwohl Vitruv aus gesundheitlichen Gründen Tonrohre statt Bleileitungen empfiehlt, änderte sich wenig an der Verwendung von Blei in der gesamten antiken Installationstechnik. Es gab auch schon *Pumpen*, wie Funde in Belgium am Hunsrück nahe Trier belegen⁷⁰. Dort fand man eine *Doppelkolbenpumpe* aus Eichenholz, mit Blei ausgekleidet, deren Nachbau immerhin eine Förderhöhe von 15 m bewältigte. In Saint Malo an der französischen Atlantikküste fand man eine Pumpstation für die Trinkwasserversorgung der Flotte.

Erst mit Beginn der römischen Kaiserzeit wurden öffentliche *Latrinen* Allgemeingut damaliger Städte. Sie waren an die städtischen Abwasserkanä-



Abb. 10. Rekonstruktion und Schnitt durch das Frigidarium der 216 n. Chr. von Kaiser Caracalla eröffneten Thermen in Rom. Der junge französische Architekt Blouet hatte als Gewinner des begehrten „Prix de Rome“ der Pariser École des Beaux-Arts die Ruinen dieser Großthermen aufgemessen und in diesem faszinierenden Aquarell die großartige Architektur (Scheitelhöhe der Gewölbe 35 m), die Ausstattung und das Leben in einer der eindrucksvollsten Thermenanlagen der Antike visualisiert (aus: G. A. Blouet, *Restauration de Thermes d'Antonine Caracalla à Rome*, Paris 1828).



Abb. 11. Öffentliche Gemeinschaftslatrine in Dougga, Tunesien, 3. Jahrhundert n. Chr. Die mittelgroße römische Landstadt Thugga (Einwohnerzahl etwa 5 000) hatte immerhin drei Thermen, wozu jeweils eine Latrine gehörte. Die abgebildete zählt zu den besterhaltenen Anlagen dieser Art, war hygienisch und kommunikativ. Die permanente Wasserspülung unterhalb der Sitzbank war mit dem Straßenkanal verbunden; anstelle von Toilettenpapier bediente man sich eines Stockes mit Schwämmchen, das in die vor den Sitzen laufende Wasserrinne getaucht wurde, Handreinigung erfolgte am Waschbecken an der Wand (Foto: Verf.).

le angeschlossen, d. h. so gebaut, dass unter der Sitzfläche der Kanal verlief und für permanente Durchspülung sorgte. Die mit Thermen verbundenen Latrinen hatten saalartigen Charakter, wie diejenige mit halbkreisförmigem Grundriss bei den Antoninsthermen in Karthago; auch die normalen, so am Forum in Timgad und in Dougga, Tunesien, hatten 25 bzw. zwölf Sitze (Abb. 11). Latrinen waren Orte der sozialen Kommunikation, was schon ihre Architektur verrät⁷¹. Deshalb

findet man sogar in Privathäusern Latrinen mit zwei Sitzen nebeneinander (Bulla Regia, Tunesien). Die Toilette in der Palastvilla des Kaisers Hadrian bei Tivoli hatte zwei einander gegenüber angeordnete Sitze; dazwischen konnte durch ein Fenster der Blick nach draußen über einen Springbrunnen und die Albaner Berge schweifen. Aber Privattoiletten waren schon besonderer Luxus (Abb. 12). Der permanente Wasserzufluss erforderte eine effiziente Ableitung, zumal auch noch Regen- und Brauchwasser hinzukamen⁷². Die in der Mitte der Straße unter dem Pflaster verlegten Abwasserkanäle zählen deshalb auch zu den Merkmalen römischer Städte.

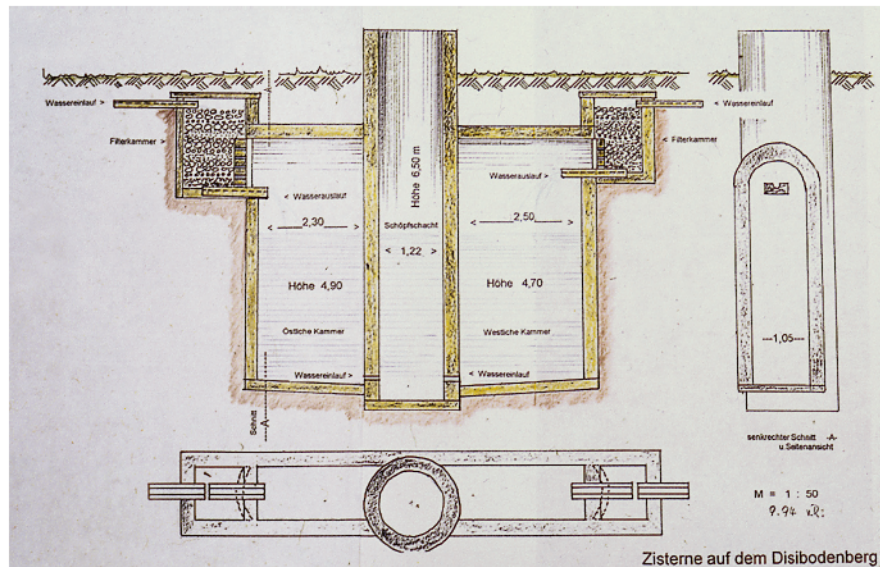
Abb. 12. Zweisitzige Toilette einer Villa in Bulla Regia, Tunesien, 3. Jahrhundert n. Chr. Von gleicher Konstruktion wie die öffentliche Latrine, war so eine Toilette in einer Villa durchaus ein Zeichen von besonderem Luxus, wie auch die „Fußbodenmatte“ aus Mosaik es zeigt. Die in der Kaiserzeit sehr wohlhabende, mit zahlreichen Wasseranlagen ausgestattete Stadt hatte eine Reihe palastartiger, großartig mosaizierter Villen, die wegen der afrikanischen Hitze teilweise unterirdisch angelegt waren (Foto: Verf.).



Außer den Hauptsammlern gab es die Zubringer- und Stichkanäle aus den Häusern. Die gegenüber griechischen Städten deutlich höheren Bevölkerungszahlen brachten größere Mengen an Unrat und Fäkalien mit sich; die römischen Kanäle waren daher von erheblich größerem Querschnitt. Sie lagen tiefer für eine stärkere und in der Regel gewölbte Kanaldeckung mit höherer Verkehrsbelastbarkeit, dadurch konnten die Seitenkanäle mit geringerem Aufwand eingeleitet werden. *Straßengullis* entsorgten das Oberflächenwasser, wozu auch noch das Wasser der Laufbrunnen kam. Die 35 cm hohen Gehsteigkanten und Trittsteine in Pompeji und – die jüngst in Trier gefundenen – zeigen, welche Wassermengen zu entsorgen waren.

Köln hatte in römischer Zeit ein beachtliches Abwassersystem, dessen gewölbter Hauptkanal (2,5 m hoch, 1,5 m breit) aus Quaderwerk in einen stillgelegten Rheinarml mündete⁷³. In Trier gab es flachgedeckte Zubringerkanäle, die sorgfältig mit wasserfestem Mörtel abgedichtet waren. Welche Wassermengen hier bei Regenfall zusammen mit den Abwässern der Thermen zu entsorgen waren, zeigen die Barbarathermen in Trier, bei denen sogar offene gepflasterte Lichthöfe als Ausgleich und Sammler für den Abwasserhauptkanal dienten⁷⁴.

Abb. 13. Konstruktionszeichnung der Zisterne in der Klosterruine Disibodenberg. Die im 12. Jahrhundert als Filterzisterne aus dem Fels geschlagene Kammer wurde mit Kies gefüllt und mit Platten abgedeckt, das Wasser aus dem Schacht in der Mitte entnommen. Ein Umbau im 14. Jahrhundert machte daraus eine schmale, gewölbte Tankzisterne mit zwei separaten, den Zuflussrinnen vorgeschalteten Filterkammern; der als kommunizierendes Gefäß funktionierende Schöpfschacht hatte unten über der Sohle Verbindungsöffnungen (Foto: Verf.).



Die berühmteste römische Entwässerungsleitung aber ist die Cloaca Maxima in Rom, die ursprünglich um 500 v. Chr. als offene Drainage in der sumpfigen Niederung zwischen den Hügeln angelegt worden war. Nach Aufschüttung der umgebenden Laufniveaus, mit Wangen aus Quader- und Ziegelmauerwerk, dann Caementicium und durch die Einwölbung hatte sie in ihrem Endausbau eine Höhe von mehr als 4 m und eine Breite von mehr als 3 m⁷⁵. Ihre dreifach gewölbte Mündung in den Tiber beim Ponte Palatino ist noch heute zu sehen. Damit erreichte das Abwassersystem Roms hinsichtlich technischer Qualität und betrieblicher Effizienz einen bis dahin nicht erreichten Standard, der noch im 19. Jahrhundert in Europa seinesgleichen sucht.

Der byzantinische Beitrag

Das byzantinische Reich als östlicher Erbe römischer Technologie hat in der Wasserversorgung der Städte eher zur Reduktion früherer Standards geführt als Neuerungen gebracht. Grund waren die politischen Verhältnisse. Die zahlreichen Kriege gefährdeten und unterbrachen nicht selten die öffentliche Wasserversorgung, so dass wieder die individuelle Vorsorge aus Zisternen und Brunnen in den Vordergrund trat.

In der Hauptstadt Konstantinopel allerdings blieb noch lange alles beim alten. Im Jahre 368 ließ Kaiser Valens über eine Strecke von 150 km eine der längsten römischen Wasserleitungen bauen. Der eindrucksvolle Aquädukt speiste eine Reihe von ausgedehnten

Zisternen, von denen besonders zwei erwähnt seien: die Binbirdirek („Tausend-und-eine-Säule“) und der Yerebatan-Serail („Versunkenes Schloss“), dieser ein imposanter Raum mit einem Grundriss von 140 auf 70 m, mit 326 Säulen, zweifach übereinandergestellt in zwölf Jochen⁷⁶. Im Bauen hatte sich allmählich die leichtere Ziegelwölbung statt des schwereren Caementiciums durchgesetzt (Abb. 9). Das ermöglichte, gewölbte Räume, wie diese Zisternen, auf derart filigranen Säulen zu bauen; es ist Wasserbaukunst im wahrsten Sinne des Wortes.

Mit dem Wasser wurde in Byzanz Erstaunliches getrieben: So berichtet im 7. Jahrhundert ein chinesischer Gesandter, dass man bei brütender Hitze im Hochsommer vom Dachgesims bestimmter Gebäude an allen vier Seiten aus feinen Düsen einen Wasservorhang zur Kühlung und Erfrischung regnen ließ. Und am Palasttor stand eine Wasseruhr mit ausgetüftelter Mechanik, ein später Nachfahre der Konstruktion des alexandrinischen Gelehrten Ktesibios, dem auch die Erfindung der Pumpe zugeschrieben wird⁷⁷.

Europäisches Mittelalter und Renaissance

Nutz- und Abwasser auf Höhenburgen

Die Wasserversorgung auf Höhenburgen war immer schwierig. Meist blieb es bei Brunnen; mittels darüber angebrachter Göpelwerke oder Treträder holte man das Wasser empor⁷⁸. Architektonisch interessant wurde es,

den Brunnen oder Quellaustritt am Hangfuß mit einem Turm zu überbauen, der eine geschützte Wasserentnahme von der Burg aus ermöglichte, wie es Beispiele am Trifels (Pfalz) und an der Löwenburg in Gerolstein (Eifel) zeigen⁷⁹. Auf manchen Burgen leistete man sich schon im 11. Jahrhundert den Luxus einer Badestube⁸⁰, in die der Burgherr mitunter auch seine Gäste einlud; die meisten Beispiele stammen allerdings erst aus der Wandlungsphase von der Burg zum Schloss. So gab es auf Schloss Ambras in Tirol im 16. Jahrhundert im holzgetäfelten und freskierten Badezimmer eine gemauerte, mit Zinkblech ausgekleidete Wanne⁸¹.

Technikgeschichtlich interessant sind die Filterzisternen. Rechteckig oder birnenförmig aus dem Fels geschlagen, mit Ziegelplatten in Dichtungselm gegen Wasserverlust versehen, einem Schöpfschacht in der Mitte, wurden sie mit Kieslagen verschiedener Körnung gefüllt, die das von den Dächern und Hofflächen herangeführte Wasser reinigten, bevor es aus dem Schacht geschöpft werden konnte⁸². Solche Zisternen gab es auch in Bergklöstern, so am Disibodenberg, wo eine Filterzisterne des 12. Jahrhunderts für Oberflächenwasser im 14. Jahrhundert zu einer schmalen, gewölbten Tankzisterne unter Weiterbenutzung des alten Schöpfschachtes umgebaut wurde, das Wasser nun aber vor dem Einlauf durch zwei Kiesfilterbecken floss (Abb. 13).

Die Klöster waren übrigens in hydrotechnischer Hinsicht damals wesentlich innovativer als die Burgen, auch



Abb. 14. Abortturm („Danziger“) des Klosters Oettenbach in Zürich, Darstellung auf dem Stadtplan von Murer, 1576. Der zur Stadtbefestigung gehörende Turm nahm eine Abtrittanlage auf, deren Fäkalien durch eine Gewölbeöffnung in einen Kanal der Sihl entsorgt wurden: ein Beispiel für die effiziente Entsorgungseinrichtung auch städtischer Klöster im Mittelalter (aus: Stadtluft, Hirsebrei und Bettelmönch. Die Stadt um 1300, Abb. S. 359).

mehr als die Städte ihrer Umgebung (Abb. 14). Die Konvente waren wichtige Vermittler antiker Technik; in ihren Bibliotheken bewahrten sie das niedergeschriebene Wissen auf, und durch die Reisen der Ordensmitglieder gab es schon früh einen ständigen Austausch mit Italien und anderen Provinzen des ehemaligen Weltreiches. In Canterbury ist im Kloster Christchurch aus dem Jahre 1151 ein erstaunlicher *Leistungsplan* der Wasserversorgung und Kanalisation erhalten geblieben, der den damals hohen Stand der Technik erkennen lässt⁸³: Drei verschiedene Rohrsysteme durchziehen das Klosterareal, von der Quelle über drei Absatzbecken bis zu den Klosterbrunnen und zahlreichen Zapfstellen. Sie befinden sich im Refektorium, im Badehaus und im Brauhaus und versorgen einen Geschirrspülplatz und eine Krankenstation; sogar an den Friedhof ist gedacht. Brauchwasser spülte die Latrine, Überlaufwasser den Fischteich, Regenwasser den Kanal. Die Rohre aus *Blei* verraten antike Herstellungstechnik, auch die aus *Stein* sind ähnlich. Die empfindlichen Bleirohre wurden oft in *Rinnensteine* eingebettet⁸⁴. Da Klöster meist kontinuierlich bewohnt waren, haben sich selten so frühe technische Installationen erhalten, weil sie ständig verbessert oder umfassend erneuert werden mussten. Doch zunehmend entdeckt man bei Grabungen ältere Befunde⁸⁵. Hinsichtlich der *Entsorgung* auf Burgen von Interesse sind die entweder gleichzeitig mit dem Hauptgebäude geplanten (Trifels) oder später einem

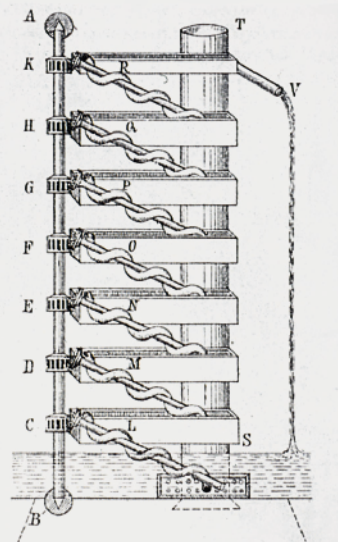
Erker beigefügten (Gräfenstein) oder als freistehende *Dansker* über Galeriebrücken erreichbaren Aborttürme, wie letztere in den Deutschordensburgen (Marienwerder, Lochstädt, Rehden u.a.) anschaulich geblieben sind⁸⁶. Die in der Mauerdicke ausgesparte *Schachttoilette* – oft sogar mit zwei Schächten für verschiedene Stockwerke – war eine konsequente Weiterentwicklung; sie war geruchsarm, unauffällig und daher sicher gegen Beschuss: Ein Beispiel gibt das kleine Burghaus Geisbüschhof bei Monreal in der Eifel⁸⁷. Auf Burgen ist diese Form anscheinend erst in staufischer Zeit gebräuchlich gewesen, bei den Turmhäusern in Städten aber schon für das 11. Jahrhundert nachweisbar, wie jüngst freigelegt im so genannten Turm Jerusalem in Trier (Palais Walderdorff).

Wasserversorgung der Städte

In Europa ging die antike Infrastruktur in den Wirren der Völkerwanderung zugrunde. Antike Bauten wurden als Steinbrüche genutzt. In Mitteleuropa ist nach dem Ende der Römerzeit über Jahrhunderte der Siedlungsschrumpfung erst im 12. Jahrhundert ein Bevölkerungsanstieg durch die Stadtgründungen festzustellen und führte in der Folge zu einem sanitären Problem⁸⁸. Hinzu kam, dass die Bauweise aus Holz oft zu Großbränden führte, die diese frühen Städte plagten. Die Anlegung von *Teichen*, *Zisternen* und *Stadtbächen* sowie die zunehmende Verwendung von *Stein als Baumaterial* war die notwendige Konsequenz. Die Stadtbäche dienten übrigens noch lange Zeit der Trinkwasserversorgung, da man generell Fließwasser für nicht gesundheitsschädigend hielt. Vornehmlich nutzte man *Schöpf- oder Ziehbrunnen*. Private Sanitäreinrichtungen spielten also kaum eine Rolle. Der Bürger des Mittelalters und der

frühen Neuzeit benötigte nach heutigen Maßstäben zu Hause wenig Wasser, da außerhalb gebadet und Wäsche gewaschen wurde. Solche *Waschplätze* sind gelegentlich erhalten geblieben⁸⁹. Das Wasser wurde vom nächstgelegenen öffentlichen *Brunnen* beschafft, auch mit Hilfe von gewerbsmäßigen *Wasserträgern*⁹⁰. Die Brunnen waren nicht nur Zweckbauten, sondern auch Ausdruck städtischer Repräsentation; Wasser hatte nicht nur im christlichen Verständnis eine heilsgeschichtliche Bedeutung. *Hausbrunnen* waren zunächst Privatsache, und später, etwa ab dem 14. Jahrhundert, bekamen *Hausanschlüsse* nur Einrichtungen mit höherem Wasserverbrauch, wie Klöster, Residenzen, aber auch städtische Betriebe, wie Brauereien, Schlachthäuser, auch soziale Einrichtungen, wie Badestuben, Spitäler und Tanz- sowie Hochzeitshäuser, wo größere gesellige Veranstaltungen stattfanden⁹¹. Fast jede Stadt hatte im Spätmittelalter ein oder mehrere Badehäuser⁹². In Paris gab es im 13. Jahrhundert 32 öffentliche gemischte Badeanstalten⁹³. Restbestände mediterraner Gepflogenheiten und die slawisch-skandinavische Tradition des Schwitzbades führten zu einer regen Badekultur im Mittelalter⁹⁴. Doch sind Bautyp und Konstruktion im Vergleich zur Antike oder den gleichzeitigen Bädern bei den Muslimen denkbar einfach: ein Vorraum zum Auskleiden, der aber auch fehlen konnte, da man sich oft schon zu Hause entkleidete, ein Kessel- und Ofenraum, aber keine Latrine, das eigentliche Badelokal wegen Feuchte und Feuersgefahr später stets gewölbt und gepflastert, ausgestattet mit hölzernen Badezubern, mitunter auch mit einem großen, gemauerten Becken. Die Bilder solcher Badestuben und *Schwimmbecken* zeigen das Vergnügen am gemeinsamen Baden⁹⁵. Das lässt im 16. Jahrhundert nach, wofür der zunehmende Holzmangel, der Einfluss der protestantischen Moral und das damit wachsende Schamgefühl sowie gesundheitliche Bedenken verantwortlich gemacht werden. Im 17. und 18. Jahrhundert stellt ein Badezimmer einen äußerst seltenen Luxus dar, und um 1800 gibt es z. B. in London nicht eine einzige Badeanstalt⁹⁶. Im 13. Jahrhundert lagen die Badehäuser oft an Flüssen, die auch das Abwasser aufnahmen; sonst dienten dazu der *Ehgraben* zwischen den Häusern oder die *Gosse* und der *Stadtbach*⁹⁷.

Abb. 15. Der untere Brunnenturm am Mauerberg in Augsburg (1538) mit der Darstellung des Wasserhebewerks durch Förderschnecken (1554), Zeichnung von Geronimo Cardano (1501 bis 1576). Der aus einem Wehrturm der Stadtmauer entstandene, 1683 noch einmal aufgestockte Wasserturm enthielt ein Hebwerk, das damals zu einer der touristischen Hauptattraktionen der Stadt zählte. Die anderen so genannten Wasserkünste waren mit Pumpwerken ausgestattet, Beispiele technischer Anlagen zur Wasserversorgung, wie sie im 16. und 17. Jahrhundert viele Städte hatten (aus: Wasserversorgung 5, Abb. 42).



Die geregelte Abwasserentsorgung in den Städten konnte erst mit der *Pflasterung* der Straßen beginnen, und diese ist selten vor dem 14. Jahrhundert nachweisbar⁹⁸.

Latrinen waren im besten Fall in einem *Erker* oder *Turm* über dem Stadtgraben untergebracht. *Hauslatrinen* fand man meist im hinteren Teil des Anwesens, über holzverkleideten, später runden, ausgemauerten *Senkgruben*⁹⁹. Im Spätmittelalter sind es dann – wie in Heidelberg – 4 m tiefe, gemauerte und *gewölbte Gruben* mit einem Grundriss von 6 auf 4 m unter dem Kellerniveau mit einem Schacht in die oberen Stockwerke¹⁰⁰. Fast alles hat man dahin entsorgt, so dass die Latrinen zu Depots von weggeworfenem Hausrat wurden¹⁰¹. Jedoch waren sie oft kaum 1 m neben dem Brunnen, manchmal auch mit Überlauf oder bis aufs Grundwasser angelegt, dem man reinigende Wirkung zuschrieb. Das führte zu einer Verjauchung der Umgebung und häufig zur unerkannten Vergiftung der Brunnen. Obwohl das Wasserklosett in England schon 1596 erfunden worden war, werden in Paris im 18. Jahrhundert (und nicht nur dort) die Nachtgeschirre auf die Straße gekippt, sind die offenen „Schmutzgräben“ in Europa ein gewohntes Bild¹⁰².

Fernleitungen mit Aquädukten kamen für eine Stadt des Mittelalters und der frühen Neuzeit nicht in Frage. Denn im Konfliktfall war sie innerhalb ihrer Stadtmauern wie eine Burg von allem Lebensnotwendigen abgeschnitten. Deshalb wurde in vielen Städten im 13. Jahrhundert mit dem Bau von *Rohrleitungen* begonnen¹⁰³ – so in

Basel schon 1250, 1332 in Braunschweig, 1370 in Hamburg. Die Rohre wurden gewöhnlich ins Erdreich gelegt; das Material war zumeist das leicht verfügbare *Holz*, vereinzelt nur das kostspielige *Blei* oder gebrannter *Ton*. Im Sandsteingebiet findet man oft die antike Art der *Steinrohre*. Die Leitungen mündeten in *Brunnenstöcke* und ergossen ihren Inhalt in Brunnenbecken. Die *Röhrenmeister* legten Leitungspläne an und hatten für die Instandhaltung zu sorgen. Die mühsame Herstellung der so genannten *Teucheln* aus langen, gerade gewachsenen Fichtenstämmen mittels einer Reihe von Geräten und schließlich auch Maschinen sind durch illustrierte Darstellungen und Funde belegt.

Bei dieser Konstruktionsweise durfte nur wenig Druck in der Leitung auftreten. Musste das Wasser zu einem höher gelegenen Ort innerhalb der Stadt geleitet werden, dann hob man es mit Hilfe von *Schöpffrädern*, wie schon Vitruv empfahl. Für die Anlage von Wasserleitungen in Mitteleuropa spielte die Überlieferung antiken Fachwissens eine wichtige Rolle. Die italienischen Ingenieure der Renaissance arbeiteten intensiv an der Verbesserung und Weiterentwicklung der aus der Antike bekannten Maschinen. Ausführlich befasste sich vor allem *Leonardo da Vinci* (um 1504) mit wasserbaulichen Projekten. Alle diese neuen Erkenntnisse und Ideen wurden bald auch jenseits der Alpen registriert. Die Bücher *Vitruvs* und die Schrift von *Frontinus* wurden 1543 in Deutschland bekannt. Auch in Mitteleuropa gab es kluge Köpfe, wie *Georgius Agricola* aus Sachsen

(1494 bis 1555), der sich speziell mit der *Pumpentechnik* für den Bergbau befasste¹⁰⁴. Die Einführung der wasserkraftgetriebenen *Kolbenpumpe* in Mitteleuropa kam einer technischen Revolution gleich. Nach anfänglichen technischen Schwierigkeiten wurde die Konstruktion durch die Verwendung von *Messing* statt Holz, durch Kurbelwelle und Pleuelstange verbessert, so dass die hohen Pumpentürme der so genannten *Wasserkünste* zum gewohnten Erscheinungsbild der Städte ab dem 15. Jahrhundert gehörten. Oft wurde ein Turm der Stadtmauer dafür herangezogen, wie in Ulm, wo sich eine der frühesten dieser Konstruktionen befand (1340). Die technisch bedeutendsten Wasserkünste aber baute man in Augsburg. Die 1538 errichtete „Augsburger Maschine“, ein 18 m hoher Turm mit Hebwerk aus sieben schräg angeordneten Wasserschnellen, die mittels eines Wasserrades und hölzernen Getriebes bewegt wurden, war eine Attraktion, die Fachleute besonders aus Italien anzog (Abb. 15). Die Reichsstadt wurde zu einem Technologiezentrum für diese Wassertechnik. Ihre Spezialisten waren in ganz Mitteleuropa tätig, sie kamen eigentlich aus der Metallgießerei und Metallbearbeitung, in der Augsburg ebenfalls führend war¹⁰⁵. Von diesen Maschinen zur Wasserförderung ist es nur ein Schritt zu den ausgefeilten *barocken Wasserspielen*, die in den Villen Italiens das Entzücken der Zeitgenossen fanden und heute noch erfreuen. Damit war der Weg frei für den nächsten technologischen Sprung, den man *Industrialisierung* nennt.

Anmerkungen

Folgende Titel werden abgekürzt zitiert:

Grewe, K., 1998: *K. Grewe*, Licht am Ende des Tunnels. Planung und Trassierung im antiken Tunnelbau, Mainz 1998.

Neuburger, A., 1929: *A. Neuburger*, Die Technik des Altertums, Leipzig 1929.

Tölle-Kastenbein, R., 1990: *R. Tölle-Kastenbein*, Antike Wasserkultur, München 1990.

Wasserversorgung 1: Wasserversorgung im antiken Rom (Geschichte der Wasserversorgung = GdW., Bd. 1, hrsg. von der Frontinus-Gesellschaft), München 1989⁴.

Wasserversorgung 2: Die Wasserversorgung antiker Städte (GdW., Bd. 2),

Mainz 1987.

Wasserversorgung 3: Die Wasserversorgung antiker Städte (GdW., Bd. 3), Mainz 1988.

Wasserversorgung 4: Die Wasserversorgung im Mittelalter (GdW., Bd. 4), Mainz 1991.

Wasserversorgung 5: Die Wasserversorgung in der Renaissance (GdW., Bd. 5), Mainz 2000.

¹G. Garbrecht, Die Wasserversorgung des antiken Pergamon, in: Wasserversorgung 2, S. 17 ff.

²R. Kill, Zum Stand der Forschung über die Wasserversorgung der Höhenburgen im Elsaß, in: Leben im Mittelalter. 30 Jahre Mittelalterarchäologie im Elsaß (Ausstellungskatalog Speyer 1992, hrsg. v. Hist. Museum der Pfalz, M. M. Grewenig), S. 308a.

³G. Stanzl, Punische Bautechniken, in: F. Rakob (Hrsg.), Die deutschen Ausgrabungen in Karthago, Bd. I, Mainz 1991, S. 211–215; S. Lancel, Introduction à la connaissance de Carthage: La colline de Byrsa à l'époque punique, Paris 1983, S. 32, 41.

⁴F. Scheidegger (Hrsg.), Aus der Geschichte der Bautechnik, Bd. 1, S. 80 ff.

⁵R. Tölle-Kastenbein 1990, S. 28 ff.

⁶A. Mazar, in: Wasserversorgung 2, S. 185.

⁷F. Glaser, Antike Brunnenbauten in Griechenland, Wien 1983; R. Tölle-Kastenbein, Das archaische Wasserleitungsnetz für Athen, in: Antike Welt 1994 (Sondernummer), S. 88 ff.

⁸K. Grewe 1998, S. 33 ff.; R. Tölle-Kastenbein 1990, S. 39 ff.

⁹K. Grewe 1998, S. 55–57; R. Tölle-Kastenbein 1994 (wie Anm. 7).

¹⁰K. Grewe 1998, S. 70 ff.; N. Schnitter, Römischer Wasserbau in der Schweiz, in: F. Scheidegger (Hrsg.), Aus der Geschichte der Bautechnik, Bd. 2, Basel 1992, S. 156 ff.

¹¹H. J. Kienast, in: Wasserversorgung 2, S. 167–171.

¹²D. Bahat/G. Hurvitz, Jerusalem - Die Zeit des ersten Tempels, in: Von Babylon bis Jerusalem. Die Welt der altorientalischen Königreiche (Ausstellungskatalog), Mannheim/Wien 1999, Bd. 1, S. 214, 227; K. Grewe 1998, S. 41 ff.; A. Mazar, in: Wasserversorgung 2, S. 186.

¹³K. Grewe 1998, S. 58–69; H. J. Kienast, Die Wasserleitung des Eupalinos auf Samos. Deutsches Archäologisches Institut, Samos, Bd. XIX, Bonn 1995; A. Neuburger 1929, S. 425–427.

¹⁴K. Peters, Der Tunnel. Das Eupalineum auf der Insel Samos, Dortmund 1984.

¹⁵G. Garbrecht, in: Wasserversorgung 2, S. 24–28; A. Neuburger 1929, S. 429.

¹⁶R. Naumann, Architektur Kleinasien, Berlin 1971, S. 203 ff., 427.

¹⁷R. Naumann (wie Anm. 16), S. 414 ff.

¹⁸E. Brödner, Die römischen Thermen und das antike Badewesen, Darmstadt 1992², T. 37a; A. Neuburger 1929, S. 446.

¹⁹R. Ginouvès, L'établissement thermal de Gortys d'Arcadie (1959).

²⁰U. Sinn et al., Olympia – eine Spitzenstellung nicht nur im Sport. Eine neuentdeckte Badeanlage der hellenistischen Zeit, in: Antike Welt 2003/6, S. 617–623.

²¹R. Ginouvès, Balaneutiké, Paris 1962.

²²R. Naumann (wie Anm. 16), S. 197–202.

²³D. Bahat/G. Hurvitz (wie Anm. 12), S. 214.

²⁴W. Hoepfner/E.-L. Schwandner, Haus und Stadt im klassischen Griechenland, München 1994, S. 74, 80, 320; R. Ginouvès, Balaneutiké (wie Anm. 21), passim.

²⁵A. Konecny, Hellenistische Turmgehöfte in Zentral- und Ostlykien, Wien 1997, Taf. 12, Abb. 32–34.

²⁶S. Lancel, La colline de Byrsa, S. 19 ff.

²⁷F. Rakob, Karthago I (wie Anm. 3), S. 228 ff.

²⁸G. Garbrecht, in: Wasserversorgung 2, S. 44 ff.

²⁹A. Neuburger 1929, S. 443.

³⁰A. Neuburger 1929, S. 447; R. Tölle-Kastenbein 1994, S. 13, 15.

³¹H.-O. Lamprecht, Opus Caementitium. Bautechnik der Römer, Düsseldorf 1993⁴, passim. Die hier verwendete Schreibweise „Caementitium“ ist verdeutscht, lateinisch korrekt ist „caementicium“.

³²H. Straub, Die Geschichte der Bauingenieurkunst, Basel 1992, S. 19, 41 ff.

³³W. Eck in: Wasserversorgung 1, S. 47 ff.; G. Kühne in: Wasserversorgung 1, S. 79 ff.

³⁴R. Tölle-Kastenbein 1990, S. 25, 47, Abb. 24; K. Grewe, Atlas der römischen Wasserleitungen nach Köln, Köln/Bonn 1986.

³⁵F. Rakob, Das Quellheiligtum in Zaghuan und die römische Wasserleitung nach Karthago, in: Römische Mitteilungen 81, 1974, S. 41 ff.

³⁶Eifelleitung nach Köln: H.-O. Lamprecht, Opus Caem. (wie Anm. 31), S. 101 ff.; K. Grewe 1986, passim.

³⁷B. Gockel in: Wasserversorgung 1, S. 153.

³⁸K. Grewe, Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen, Wiesbaden 1985; H. Monow, Feldmeßkunst in der Antike und im Mittelalter - Instrumente und Methoden, in: F. Scheidegger (Hrsg.), Aus der Geschichte der Bautechnik, Bd. 2, Basel 1992, S. 16–19.

³⁹Lyon: J. Burdy in: Wasserversorgung 3, S. 190–198; Caesarea: Ph. Leveau in: Wasserversorgung 3, S. 189.

⁴⁰Metz: K. Grewe in: Wasserversorgung 3, S. 76 ff.

⁴¹Lyon: H. Fahlbusch in: Wasserversorgung 2, S. 152.

⁴²H. Fahlbusch in: Wasserversorgung 2, S. 172 ff.

⁴³B. Gockel in: Wasserversorgung 1, S. 181 ff.

⁴⁴R. Tölle-Kastenbein 1990, S. 88.

⁴⁵F. Rakob, Zaghuan (wie Anm. 35), S. 81 ff.

⁴⁶J. Luc Fiches in: Wasserversorgung 3, S. 214.

⁴⁷K. Grewe in: Wasserversorgung 3, S. 219 ff.; B. Gockel in: Wasserversorgung 1, S. 164.

⁴⁸J. Luc Fiches in: Wasserversorgung 3, S. 207 ff.; B. Gockel in: Wasserversorgung 1, S. 158 ff.

⁴⁹Ph. Leveau in: Wasserversorgung 3, S. 186 ff.

⁵⁰F. Rakob, Zaghuan (wie Anm. 35), S. 43.

⁵¹B. Gockel in: Wasserversorgung 1, S. 188 ff.

⁵²Cl. Mocchegiani Carpano, Unter den Straßen von Rom, 1986, S. 69.

⁵³J. Luc Fiches in: Wasserversorgung 3, S. 212.

⁵⁴B. Gockel in: Wasserversorgung 1, S. 207 ff., Abb. 196; H. Eschbach/T. Schäfer, Die öffentlichen Laufbrunnen Pompejis. Katalog und Beschreibung, in: Pompeji, Herculaneum, Stabiae I, 1983, S. 11 ff.

⁵⁵H. Fahlbusch in: Wasserversorgung 1, S. 129 ff.

⁵⁶L. Eschbach in: Wasserversorgung 2, S. 205; H. Eschbach, Die Gebrauchswasserversorgung des antiken Pompeji, in: Antike Welt 10, 1979/2, S. 3 ff.

⁵⁷G. Kühne in: Wasserversorgung 1, S. 89.

⁵⁸G. Garbrecht in: Wasserversorgung 1, S. 32 ff.; Th. Ashby, The Aqueducts of Ancient Rome (Oxford 1935); E. B. van

- Demian*, The Buildings of the Roman Aqueducts, Washington 1934.
- ⁵⁹ E. Brödner, Die römischen Thermen und das antike Badewesen, Darmstadt 1983; H. Manderscheid, Römische Thermen. Aspekte von Architektur, Technik und Ausstattung, in: Wasserversorgung 2, S. 99–117.
- ⁶⁰ E. Brödner, Heizung und Klimatisierung in großen römischen Bauten. Technik Geschichte. Bd. 47, 1980.
- ⁶¹ H.-O. Lamprecht, Opus Caem., S. 126 ff.
- ⁶² E. Brödner, Wohnen in der Antike, Darmstadt 1989, S. 111 ff.
- ⁶³ D. Krencker/E. Krüger, Die Trierer Kaiserthermen (Trierer Grabungen und Forschungen I,1), Augsburg 1929.
- ⁶⁴ Vgl. die zeichnerischen Rekonstruktionen des französischen Architekten C.-A. Leclerc, 1871, Stipendiat des Prix de Rome, in: Fragments de la Rome antique, Rom 1998.
- ⁶⁵ K. P. Goethert, Römerbauten in Trier (Führungsh. 20), Regensburg 2003, S. 104 ff.; D. Krencker/E. Krüger Kaiserthermen (wie Anm. 63), S. 241–246.
- ⁶⁶ Beispiel: Augst, Frauentermen: W. Heinz, Baden, Salben und Heilen in der römischen Antike, in: Augster Museumshefte 13; M. Doth, Römische Badeanlagen in Köln, in: Kölner Jahrbuch 34, 2001, S. 267–331.
- ⁶⁷ R. Bol, Das Statuenprogramm des Herodes-Atticus-Nymphäums, Forschungen in Olympia XV, 1984.
- ⁶⁸ F. Rakob, Das Grottentriclinium in Pompeji, in: Römische Mitteilungen 71, 1964, S. 18–32.
- ⁶⁹ B. Gockel in: Wasserversorgung 1, S. 207, Abb. 84–92.
- ⁷⁰ B. Gockel in: Wasserversorgung 3, S. 211; A. Neyses, Eine römische Doppelkolbenpumpe aus Vicus Belginum, in: Trierer Zeitschrift 1972.
- ⁷¹ G. E. Thüry, Müll und Marmorsäulen. Siedlungshygiene in der Antike, Mainz 2001, S. 10 ff.
- ⁷² R. Tölle-Kastenbein 1990, S. 166 ff.; H. O. Lambrecht, Wasser und Abwasser in der römischen Antike, in: F. Scheidegger (Hrsg.), Aus der Geschichte der Bautechnik 2, 1992, S. 149 ff.
- ⁷³ R. Tölle-Kastenbein 1990, S. 172, Abb. 110.; H. Hellenkemper, Das Kanalnetz der CCAA, (Führer zu vor- und frühgeschichtlichen Denkmälern 37/1), 1980, S. 77.
- ⁷⁴ D. Krencker/E. Krüger, Kaiserthermen (wie Anm. 63), S. 246, Abb. 360.
- ⁷⁵ Cl. Mocchegiani Carpano, Unter den Straßen von Rom, 1986, S. 174; H. Bauer, Frontinus H. 12, 1988, S. 45 ff.
- ⁷⁶ R. Tölle-Kastenbein 1992, S. 128 ff.; S. Eyice, Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts, H. 64, 1979, S. 1 ff.; P. Forchheimer/R. Strzykowski, Die Wasserbehälter von Konstantinopel, Wien 1893.
- ⁷⁷ P. Schreiner, Eine chinesische Beschreibung Konstantinopels aus dem 7. Jahrhundert, in: Istanbul Mitteilungen 39, 1989, S. 495.
- ⁷⁸ W. Ruckdeschel in: Wasserversorgung 5, S. 254 ff. (Kufstein)
- ⁷⁹ B. Meyer, Burg Trifels (Führungsh. 15), Regensburg 1997, Abb. S. 7, 83.
- ⁸⁰ So auf Schloss Persenbeug an der Donau (vgl. O. Borst, Alltagsleben im Mittelalter, Frankfurt 1983, S. 284).
- ⁸¹ A. Baur, Wasser für Schlösser und Gärten, in: Wasserversorgung 5, S. 169.
- ⁸² W. Meyer, Zisternen auf Höhenburgen der Schweiz. Zum Problem der Trinkwasserversorgung auf mittelalterlichen Burgenanlagen, in: Burgen und Schlösser 20, 1979/II, S. 84–90; R. Kill, Zum Stand der Forschung (wie Anm. 2), S. 308–318.
- ⁸³ K. Grewe, Der Wasserversorgungsplan des Klosters Christchurch in Canterbury (12. Jahrhundert), in: Wasserversorgung 4, S. 229; C. Kosch, Die Wasserbaueinrichtungen in hochmittelalterlichen Konventanlagen Mitteleuropas, in: Wasserversorgung 4, S. 89–146; C. James Bond, Mittelalterliche Wasserversorgung in England und Wales, in: Wasserversorgung 4, S. 149–183.
- ⁸⁴ G. Stanzl, Die Klosterruine Disibodenberg (Denkmalpflege in Rheinland-Pfalz, Forschungsberichte, Bd. 2), Worms 1992, S. 126, 129 ff., 141.
- ⁸⁵ O. Teschauer, Archäologische Beobachtungen zur Wasserversorgung des Klosters Hirsau im Mittelalter, in: Wasserversorgung 4, S. 244–257.
- ⁸⁶ Trifels: B. Meyer, Trifels (wie Anm. 79); Gräfenstein: M. Backes, Staatliche Burgen, Schlösser (Führungsh. 7), Regensburg 2003, S. 74; Lochstädt, Rehden: L. Kutzner, Gestalt, Form und ideologischer Sinn der Deutschordensburgen in Preußen, in: Burgenbau im späten Mittelalter. Forschungen zu Burgen und Schlössern 2, 1996, S. 199–215.
- ⁸⁷ G. Stanzl, Der Geisbüschhof bei Monreal, in: Bauuntersuchungen in Monreal (Eifel). Berichte zur Haus- und Bauforschung, Bd. 7, 2001, S. 183–196.
- ⁸⁸ K. Grewe, Wasserversorgung und -entsorgung im Mittelalter, in: Wasserversorgung 4, S. 11–81; M. Illi/E. Höfler/J. Oexle, Versorgung und Entsorgung der mittelalterlichen Stadt, in: Stadtluft, Hirsebrei und Bettelmönch. Die Stadt um 1300 (Ausstellungskatalog), Zürich/Stuttgart 1992/1993, hrsg. v. Landesdenkmalamt Baden-Württemberg und der Stadt Zürich, S. 351–374.
- ⁸⁹ Einige Beispiele in: Wasserversorgung 5, S. 25, Abb. 16–18.
- ⁹⁰ A. Hoffmann, Wassernöte und technischer Wandel in der frühen Neuzeit, in: Wasserversorgung 5, S. 44–59.
- ⁹¹ H. Kühnel (Hrsg.), Alltag im Spätmittelalter, Graz 1986², S. 49–62.
- ⁹² J. Cramer, Badehäuser - ein städtischer Bautyp, in: Hausbau im Mittelalter (Jahrbuch für Hausforschung 2), 1985, S. 9–58; U. Kiby, Bäder und Badekultur im Orient und Okzident, Köln 1995.
- ⁹³ J. Gimpel, Die industrielle Revolution des Mittelalters, Zürich 1981, S. 94 ff.
- ⁹⁴ O. Borst, Alltagsleben im Mittelalter, Frankfurt 1983, S. 288 ff.
- ⁹⁵ Vgl. das Bild „Badeszene“ von Lucas Cranach, die Abbildungen Bl. 114a und b in Conrad Kyesers „Bellifortis“ von 1405, Düsseldorf 1967 oder das muntere Treiben, das uns der Hausbuchmeister um 1480 in seiner Darstellung eines Badehauses zeigt.
- ⁹⁶ F. Braudel, Sozialgeschichte des 15.–18. Jahrhunderts. Der Alltag, München 1990, S. 313, 352 ff.
- ⁹⁷ K. Simon-Muscheid, Abfälle, Abwässer und Kloaken. Das Problem der Entsorgung, in: Uta Lindgren (Hrsg.), Europäische Technik im Mittelalter. 800 bis 1400. Tradition und Innovation (Berlin 1997²), S. 117 ff., Abb. 3.
- ⁹⁸ H. Kühnel, Alltag (wie Anm. 91), S. 60 ff.
- ⁹⁹ J. Oexle, in: Stadtluft (wie Anm. 88), S. 366 ff.
- ¹⁰⁰ Das Heidelberger Spital, in: Vor dem großen Brand: Archäologie zu Füßen des Heidelberger Schlosses (Ausstellungskatalog), Heidelberg 1992, hrsg. v. Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, S. 38 ff.
- ¹⁰¹ E. Kern, Straßburger Grün - „Le vert Strasbourgeois“, in: Leben im Mittelalter. 30 Jahre Mittelalterarchäologie im Elsaß (Ausstellungskatalog), Speyer 1992, hrsg. v. Hist. Museum der Pfalz, M. M. Grewenig, S. 115–120.
- ¹⁰² H. Kühnel, Alltag (wie Anm. 91), S. 56–62.
- ¹⁰³ A. Hoffmann, Zum Stand der städtischen Wasserversorgung in Mitteleuropa vor dem Dreißigjährigen Krieg, in: Wasserversorgung 5, S. 100 ff.
- ¹⁰⁴ A. Hoffmann in: Wasserversorgung 5, S. 36–44.
- ¹⁰⁵ A. Hoffmann in: Wasserversorgung 5, S. 114–131.