



© pressurepics - Fotolia.com

1.1 Wassernutzung seit prähistorischer Zeit

HENNING FAHLBUSCH

Water and its use in early history: »There is no life without water«- this fact all people knew instinctively since the beginning of mankind. People were supplied from local resources, which already very early were improved by digging wells. People in antiquity studied the natural phenomena, analysed and interpreted them in an excellent way. This resulted in a splendid water management, which is shown at Egypt and the Marib dam as examples. When the local water resources were no longer sufficient to meet the water demand of the societies there have been only two methods to increase the available water, i.e. the local and temporal transfer. These transfers are also demonstrated at various examples.

Wohl instinktiv wussten die Menschen zu jeder Zeit, dass es kein Leben ohne Wasser auf der Erde gibt. Der sich daraus ergebende Wasserbedarf von Mensch, Tier und Pflanze musste gedeckt werden. Dies war eine Notwendigkeit für die Gründung von Siedlungen, deren Entwicklung zu Städten und letztendlich ganzer Kulturen. Die zur Verfügung stehenden örtlichen Wasserressourcen waren Quellen, Flüsse, Teiche oder Seen als lokales, natürliches Wasserangebot. Es konnte durch das Graben von Brunnen erweitert werden, obwohl dadurch nur eine verhältnismäßig kleine Zahl an Menschen und Tieren zusätzlich versorgt werden konnte. Einer der berühmtesten Brunnen ist sicherlich der von Be'er-Sheva im Heiligen Land, der bereits in der Bibel erwähnt wird. Allerdings ist nicht bekannt, wann er angelegt wurde.

Nach der Zunahme arider Verhältnisse als Folge der Klimaveränderungen wohl ab dem 6. Jahrtausend v. Chr. entstanden bedeutende Kulturen in den Flusstälern des Nils, von Euphrat und Tigris, dem Indus und des Hoang Ho. Da das tägliche Leben und somit auch das langfristige Überleben der Bevölkerung von der Verfügbarkeit des Wassers in diesen Flüssen abhing, erscheint es durchaus plausibel, die dort entstandenen Kulturen als »hydraulic civilizations«, als »Wasserwirtschaftsgesellschaften«, zu bezeichnen. Das soll durch einen Blick nach Ägypten kurz erläutert werden.

Wasserwirtschaftsgesellschaft - Beispiel Niltal

HERODOT beschrieb »Ägypten als ein Geschenk des Nils«. Dies war seit prähistorischer Zeit sicherlich bis zum Bau des Assuan-Hochdamms zutreffend. Der Nil wird im Wesentlichen durch drei Quellflüsse gespeist. Der Weiße Nil kommt aus den Sudd-Sümpfen und den großen, ostafrikanischen Seen. Da die Sümpfe und Seen als riesiges, den Spitzenabfluss dämpfendes Retentionsbecken wirken, ändert sich die abfließende Wassermenge nur wenig im Verlauf eines Jahres. Der Blaue Nil und der Atbara, der Hauptnebenfluss des Nils, kommen aus den Bergen Äthiopiens. Dort verursachen die alljährlich auftretenden heftigen sommerlichen Monsunregen einen sehr großen Oberflächenabfluss, und in deren Folge ein erhebliches Hochwasser in den Flüssen. Das hydrologische System des Nils, das sich deutlich von europäischen Verhältnissen unterscheidet, ist daher durch das regelmäßig auftretende Sommerhochwasser, die sog. Nilschwelle, charakterisiert. Anfang September beträgt der Spitzenabfluss der Hochwasserwelle in Ägypten meist mehr als 10.000 m³/s. Danach fällt der Wert bis zum nächsten Frühjahr, der nächsten Niedrigwasserperiode, wieder ab.

In Ägypten wird das fruchtbare Niltal mit seinen

Feldern sowohl im Osten als auch im Westen durch Höhenrücken begrenzt. Vor dem Beginn der Nilschwelle wurden die Gräben des Wasserverteilungssystems, das eine gleichmäßige Bewässerung ermöglichte, und die Umwallungen der Felder gewartet bzw. repariert. Während der Nilschwelle wurden die Felder eingestaut. Das Wasser infiltrierte in den Boden und wurde dort gespeichert. Nach Abklingen der Nilschwelle, wenn die Felder trocken gefallen waren, konnte die Saat ausgebracht bzw. Setzlinge gepflanzt und letztendlich so eine Ernte erzielt werden. Dieser Kreislauf wiederholte sich über die Jahrtausende.

Das derart charakteristische Verhalten des Nils bestimmte auch das der Menschen im Verlauf des Jahres. Es ist daher nicht erstaunlich, dass es auch in Abbildungen des sog. »Totenbuchs« (HORNUNG 1990) auftaucht. *Abb. 1.11-1* zeigt eine Malerei im Grab des Sennedjem aus dem Tal der Handwerker bei Theben aus

der Zeit um 1200 v. Chr., die dies beispielhaft belegt. In dem Bild umrahmt das Wasser des Nils den Jahreszyklus. In der rechten unteren Ecke ist die Nilschwelle als »Wasserberg« erkennbar, auf dem eine Barke schwimmt (*Abb. 1.11-2*), möglicherweise ein Hinweis auf die Nilometer, d. h. Pegel an denen die Wasserstände gemessen wurden. Die Hochwasserwelle befindet sich vor einem Wasserweg, sicherlich einem Kanal, für die Wasserversorgung einer prächtigen Obst- und Gemüseplantage. Darüber ist das Pflügen eines Feldes, die Aussaat, das Herausreißen von Flachs und dessen Bündelung sowie das Schneiden von Getreide und das Auflösen der Ähren zu erkennen (ABDEL GHAFAR SHEDID 1999). Am oberen Bildrand kann die Lobpreisung der Götter im Vergleich zur heutigen Zeit vielleicht mit dem Erntedankfest am Ende der Vegetationsperiode verglichen werden. Das Thema dieser Darstellung des Jahresverlaufs ist auf zahlreichen Papyrusabbildungen



Abb. 1.11-1: Der Jahreszyklus im Grab des Sennedjem (Tal der Handwerker in Theben) aus der Zeit um 1200 v. Chr.



Abb. 1.11-2: Die Nilschwelle als »Wasserberg«, auf dem eine Barke schwimmt (rechte untere Ecke von *Abb. 1.11-1*).

dargestellt worden. Offensichtlich haben die Maler ihre eigenen Erfahrungen des täglichen Lebens im jeweiligen Bild wiedergegeben.

Der Ernteertrag in Ägypten hing von der jeweiligen Höhe der Nilschwelle ab. War sie zu niedrig, konnten nicht alle Felder überflutet und somit bewässert werden, was eine Missernte bedeutete. War sie zu hoch, verursachte die große Strömung des Hochwassers große Schäden. Auch verzögerte sich das Ende der Flut so dass der Boden für die Aussaat noch zu feucht war. Unter diesen Randbedingungen ist es daher nicht verwunderlich, dass der Wasserstand des Nils schon sehr früh beobachtet und dokumentiert wurde. Dies wird an einem Spruch aus dem „Buch der Weisheiten“ deutlich, in dem es in der Lehre des Prinzen Djedefhor, einem jüngeren Sohn des Pharaos Cheops (um 2530 v. Chr.) heißt: »Such Dir ein Ackerstück, das gut überschwemmt wird – nach den Aufzeichnungen- ...« (BRUNNER 1991). Und tatsächlich sind Wasserstandsaufzeichnungen aus dem »Alten Reich« auf dem sog. Palermostein überliefert, auf dem die Höhen etlicher Nilschwellen verzeichnet sind.

Die Wasserstände des Nils wurden an den Nilometern beobachtet, die an etlichen Orten entlang des Flusses installiert waren. Es handelte sich um Treppenpegel, wie die Beispiele auf der Insel Elephantine bei Assuan belegen. Der dem Satis-Tempel zuzuordnende Pegel ist seit Jahrhunderten bekannt. Entlang der zum Nil hinunter führenden Treppe sind vier verschiedene Pegelsysteme kaskadenartig angeordnet. Aber dieser Nilometer entspricht nicht dem, der vom römischen Geograph STRABO (ca. 63 v. Chr. – 23 n. Chr.) in seiner *Geographica* beschrieben wurde:

»...Dieser Nilmesser ist ein an dem Ufer des Nils aus gleichmäßigen Quadersteinen erbauter Brunnen, in welchem man die Anschwellungen des Nils, sowohl die größten, als auch die kleinsten und mittleren be-

zeichnet; denn das Wasser im Brunnen steigt und fällt mit dem Strome. An der Mauer des Brunnens nun sind Merkzeichen als Maße der vollkommenen und der anderen Anschwellungen. Diese beobachtet man und macht sie den anderen bekannt, damit sie es wissen; denn aus solchen Zeichen und Maßen erkennt und verkündigt man die zukünftige Anschwellung schon lange vorher...« (Übersetzung STRABO 2005).

Vor wenigen Jahrzehnten wurde auf Elephantine ein zweiter Nilometer freigelegt, der der Beschreibung Strabos entspricht und der dem Chnum-Tempel zugeordnet wird (Abb. 1.11-3).

In Abhängigkeit von der Höhe der Nilschwelle wurde auch die erwartete Ernte abgeschätzt. PLINIUS der Ältere (23–79 n. Chr.) schrieb in seinen *NATURALIS HISTORIAE* (Übersetzung PLINIUS 2007), dass bei einem Wasserstand von

- »12 Ellen Hungersnoth entsteht, bei
- 13 Ellen ist noch Mangel,
- 14 Ellen verschaffen Heiterkeit,
- 15 Ellen Wohlstand und
- 16 Ellen Überfluss«.

Ein Wasserstand in Höhe der 16. Elle wurde somit als der günstigste angesehen, bei dem die beste Ernte erzielt werden konnte. Dies wird durch eine in Alexandria zur Zeit Hadrians geprägte Münze bestätigt, auf der der Nilgott mit der Zahl 16 als Symbol dargestellt wird. Und in einem Mosaik in Sepphoris (Israel) aus dem 5. Jahrhundert n. Chr. ist die 16. Elle als optimaler Wasserstand an einem Nilometer herausgestellt. Extremhochwasser hingegen, insbesondere ab der 18. Elle, verursachten verheerende Zerstörungen.

Die regelmäßig wiederkehrende Nilschwelle verhinderte eine Versalzung der fruchtbaren Böden im Niltal, so dass das hydrologische und hydrogeologische System in Ägypten in der Geschichte als ökologisch stabil



Abb. 1.11-3: Dem Chnum-Tempel zugeordneter Nilometer auf Elephantine.

angesehen werden kann. Das änderte sich mit dem Bau des Sadd el Ali, des Assuan-Hochdamms. Das meiste Wasser der Nilschwelle wurde seit der offiziellen Inbetriebnahme der Talsperre im Jahr 1971 im Reservoir vor dem Damm gespeichert. Dieser Zustand änderte die Umwelt dramatisch mit großen ökologischen Schäden, insbesondere durch eine gravierende Versalzung großer Flächen in Oberägypten. Aber eine Dürre Ende der 1970er / Anfang der 1980er Jahre des 20. Jahrhunderts konnte ohne große Schäden in Ägypten überstanden werden, da im Reservoir vor dem Assuan-Hochdamm ausreichend Wasser gespeichert war, um eine Hungersnot zu verhindern. Dieser große Nutzen sollte bei aller Kritik an dem Ingenieurbauwerk auch mit zu dessen Beurteilung herangezogen werden.

Ägypten ist auch heute noch allein auf die Wasserressource des Nils angewiesen. Nur wird das tägliche Leben nicht mehr durch den Rhythmus der Nilschwelle bestimmt. Insofern kann heute wohl nicht mehr von Ägypten als einer »Wasserwirtschaftsgesellschaft« gesprochen werden. Die wurde mit dem Bau des Assuanstaudamms beendet.

Naturbeobachtungen: Planungsgrundlage für Wasserbauten – Beispiel Marib-Damm

Seit prähistorischer Zeit beobachteten die Menschen die Natur. Sie analysierten und interpretierten deren Phänomene in hervorragender Weise, eine Fähigkeit, die den Menschen des 21. Jahrhunderts oft fehlt. Ein Blick in die Marib-Oase im Jemen mag diese These beleuchten.

Die Bewässerung der Marib-Oase ist ein hervorragendes Demonstrationsbeispiel, um zu zeigen, wie sich die Menschen früh an ihre Umwelt angepasst hatten und welche gravierenden Konsequenzen es hat, wenn die antiken bzw. traditionellen Gegebenheiten bei modernen Planungen nicht berücksichtigt werden.

Marib liegt im Jemen, etwa 150 km östlich der heutigen Hauptstadt Sanaa am Übergang vom jemenitischen Hochland zur innerarabischen Wüste. Das Wadi Dhana, in dem zweimal jährlich Wasser als Folge der Monsunregen im westlichen Hochland zur innerarabischen Wüste Ramlat as-Sab'atayn fließt, der sog. Sayl, zerschneidet die Oase in einen Nord- und Südtteil. Da aber das Flusstal niedriger liegt als die angrenzenden Felder, muss das Wasser aufgestaut werden, wenn es zur Bewässerung in die Oase geleitet werden soll. Es gibt archäologische Beweise für mindestens drei nacheinander errichtete Stauanlagen, die vor dem nachfolgend zu behandelnden berühmten »Marib-Damm« errichtet worden sind. Von den Bauwerken konnten lediglich die aus Stein konstruierten Ableitungsbauwerke nachgewiesen werden (HERBERG 1987 und 1988, SCHALOSCKE 1995). Wie die Anlagen insgesamt ausgesehen haben, ist bisher nicht eindeutig geklärt. Vermutlich dürften es aber Staudämme mit jeweils integrierter Hochwasserentlastungsanlage gewesen sein. Ihre Datierung ist umstritten. Möglicherweise wurde die erste der drei Anlagen bereits im 3. Jahrtausend v. Chr. errichtet, und die hatte sicherlich auch noch Vorgänger im Verlauf der Entwicklung.

Der dann wohl Mitte des 1. Jahrtausend v. Chr. errichtete berühmte »Marib-Damm« (Abb. 1.11-4) diente wie seine Vorgängerbauwerke nicht der Wasserspeicherung, sondern ebenfalls nur dem Aufstauen des Wassers, um dessen Ableitung aus dem Wadi in die Oase vornehmlich zur Bewässerung zu ermöglichen. Da die sich aus dem Wasser ablagernden Sedimente das Wadi oberhalb des Damms auffüllten und in der Oase auch das Niveau der Felder anwachsen ließen, musste der Damm mehrfach erhöht werden. In der letzten Phase

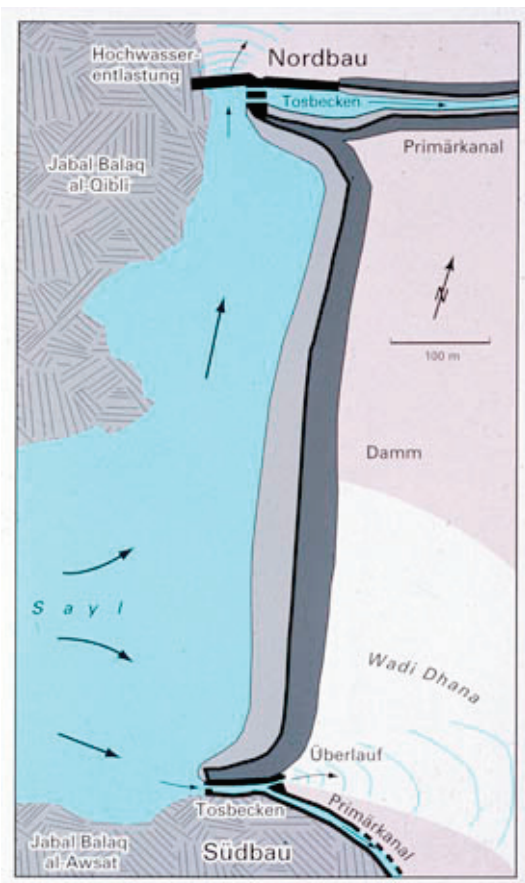


Abb. 1.11-4: Plan vom Marib-Damm im Jemen mit seinen Auslassbauwerken im Norden und Süden (Mit freundlicher Genehmigung des Autors U. Brunner).

vor seiner Zerstörung Mitte des 6. Jahrhundert n. Chr. war die 620 m lange und an der Basis fast 100 m breite Anlage am tiefsten Punkt des Wadis etwa 20 m hoch (SCHALOSCHKE 1995, BRUNNER 2000).

Sowohl im Norden als auch im Süden waren am Übergang zu den Hauptkanälen Überfälle mit Tosbecken angeordnet (Abb. 1.11-5), deren hydraulische Leistungsfähigkeit anscheinend deutlich mehr als 100 m³/s betragen hat. Der Damm selbst fungierte zusätzlich als eine Art Hochwasserentlastung mit einer geschätzten Leistungsfähigkeit von etwa 850 m³/s.

Mehrfach hatten Extremhochwässer die Anlage beschädigt. Sie war aber immer wieder instand gesetzt worden, was anhand von Inschriften belegt ist. Eine Katastrophe im 6. Jahrhundert n. Chr. muss aber derart große Verwüstungen angerichtet haben, dass ein Wiederaufbau nicht in Angriff genommen wurde. Das Ereignis wird in Sure XXXIV,15 im Koran als Strafe Allahs für die Sünden der Bewohner erwähnt.

Die gesamte Anlage war hervorragend an die örtlichen Verhältnisse angepasst. Durch die direkte Bewässerung ohne Speicherung wurden die Verdunstungsverluste gering gehalten und eine Versalzung des Bodens vermieden. Die einfache unregulierte Ableitung des Wassers aus dem Wadi und die Verteilung des Wassers in der Oase funktionierten selbstständig bei Tag und Nacht. Die Sedimente düngten den Boden und da nirgendwo Wasser stand, gab es, die gefürchteten Krankheiten Malaria bzw. Bilharzia nicht.

Ende des 20. Jahrhunderts wurde dann etwa 2 km oberhalb der antiken Anlage ein neuer Damm errichtet, der vom Abu Dhabi Fond finanziert wurde. Der neue 720 m lange und 38 m hohe Erddamm wurde 1986 in Betrieb genommen. Insgesamt können jetzt fast 400 Mio.m³ Wasser gespeichert werden. 6.300 ha sollten mit dem Wasser ganzjährig bewässert werden. Aber allem Anschein nach blieb der geplante Zufluss in den

Speicher deutlich hinter dem geplanten und erwarteten zurück (BRUNNER 2000). Und es dauerte auch nicht lange, bis die ersten Schwierigkeiten auftraten, allen voran die Versalzung und das Ausbrechen der zuvor erwähnten Krankheiten. Beim alten System mit der traditionellen Bewässerungsmethode waren diese Probleme ebenso vermieden worden wie die sich jetzt neu einstellenden sozialen Spannungen. Ein gründliches Studium der geschichtlichen Situation in Marib hätte das hydrologische System des Sayls und die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Bewässerung sichtbar gemacht, so dass die neu geschaffenen Probleme sicherlich vermieden worden wären.

Transfers nach natürlichem Vorbild

Was aber geschah in Gemeinschaften, wenn der Wasserbedarf das örtlich verfügbare Dargebot überstieg? Dies war unter den ariden bzw. semi-ariden Verhältnissen des Nahen Ostens oft der Fall. Bereits sehr früh realisierten die Menschen vielerorts, dass das Wasserdargebot bewirtschaftet und wenn notwendig vergrößert werden musste. Bis heute gibt es nur zwei Methoden für eine solche Erhöhung des Dargebots, sieht man von der Meerwasserentsalzung ab, und das sind der temporäre und der lokale Transfer, bzw. die Kombination beider Methoden. Beim temporären Transfer wird Wasser zur Zeit des Überflusses gefasst und gespeichert, um es dann in Zeiten der Knappheit zu nutzen. Dafür mussten Speicher gebaut werden, Zisternen im Kleinen oder Talsperren im Großen. Beim lokalen Transfer wird Wasser in Kanälen oder Leitungen vom Dargebotsort (Quellen, Flüsse oder Seen) zum Bedarfsort, in der Regel Städte oder Siedlungen, manchmal auch nur einzelne Anwesen, geleitet. Die Vorbilder für diese Transfers lieferte die Natur: Tümpel oder Seen für den temporären und Flüsse für den lokalen Transfer. Die Menschen



Abb. 1.11-5: Nördliches Auslassbauwerk des »Marib-Damms« (Mit freundlicher Genehmigung des Autors U. Brunner).

sahen sich also vor die Aufgabe gestellt, die natürlichen Elemente mit technischen Mitteln nachzubauen.

Temporärer Transfer - Zisternen als Kleinspeicher

In vielen Regionen der Welt wird bis heute Regenwasser in Zisternen gespeichert. Dafür wurden Hohlräume aus den Felsen gemeißelt oder, bei Lockergestein des Untergrundes, aus Mauerwerk erstellt und verputzt, um Sickerverluste zu vermeiden. Die bisher älteste Zisterne wurde in Zypern nachgewiesen. Sie wird ins 8. Jahrtausend v. Chr. datiert.

Abb. 1.11-6 zeigt eine abgebrochene Zisterne am Rand der Akropolis von Aspendos (Türkei). Deutlich sind das relativ kleine Mundloch, der sich nach unten aufweitende Querschnitt und die Reste des Putzes zu erkennen. Die Zisternen waren mit vermutlich hölzernen Deckeln verschlossen, um sowohl Lichteinfall und Verdunstung als auch eine Verschmutzung zu verhindern. Das Einspülen von Sedimenten nach Regenfällen wurde oft durch einen dem Einlauf vorgeschalteten Sandfang verhindert. So konnten ausgezeichnete hygienische Bedingungen garantiert werden. Das Wasser in den Speichern war frei von anorganischen oder organischen Verunreinigungen, insbesondere Bakterien, und somit von hervorragender Trinkqualität.



In vielen Orten der antiken Welt bildeten Zisternen das Rückgrat der Wasserversorgung, wie z.B. in Delos, Thera oder Pergamon, der Hauptstadt des Attalidenreiches nahe der Westküste der Türkei. Diese Stadt entwickelte sich im 3. Jahrhundert v. Chr. von einer Festung auf dem Stadtberg zu einer bedeutenden Metropole. Da weder Quellen noch Tiefbrunnen auf dem Stadtberg gefunden wurden, war zwangsläufig das hervorragende Zisternensystem die wasserwirtschaftliche Voraussetzung für das Aufblühen der Stadt.

Die Größe der einzelnen Kleinspeicher variierte stark zwischen weniger als 10 m³ bis hin zu mehr als 90 m³. Unter der Annahme, dass die heutigen klimatischen Bedingungen in der Region weitgehend denen in der Antike entsprechen, hat GARBRECHT (2001) die Bewirtschaftung der Zisternen analysiert. Nach seinen Berechnungen konnten bis zu 8.000 Menschen eine ganzjährige Belagerung überstehen, wenn der durchschnittliche tägliche Wasserbedarf je Einwohner auf 10 l beschränkt war. Allein diese Aussage zeigt die große Bedeutung der Zisternen für Pergamon.

Das System der Kleinspeicher wurde über viele Jahrhunderte in der Stadt genutzt, auch noch als Wasser auf die Spitze des Stadtberges mit Hilfe einer bleiernen Druckleitung floss. Der Zufluss dürfte die obersten Zisternen permanent voll gefüllt haben und das Überlaufwasser wird auf die jeweils tiefer gelegenen Kleinspeicher weitergeleitet worden sein. Die Zisternen werden solange in das hellenistische Fließwassersystem integriert gewesen sein, wie dies funktionierte.

Die sog. Astynomeninschrift belegt, dass die Zisternen sorgfältig unterhalten wurden. Die auf der Marmortafel wiedergegebenen Vorschriften stammen aus hellenistischer Zeit. Da die Inschrift aber offensichtlich erst im 2. Jahrhundert n. Chr. in Stein gemeißelt wurde, darf angenommen werden, dass sich die Pergamener nach der Zerstörung der großen Aquädukte im Verlauf des »Smyrnabebens« 178 n. Chr. auf die Bedeutung der Kleinspeicher besonnen haben und die Strafen für diejenigen wieder bekannt gemacht haben, die ihre Wartungspflichten vernachlässigten.

Das Speichervolumen der Felszisternen einzelner Anwesen war naturgemäß relativ klein. In römischer Zeit wurden dann oftmals erheblich größere Speicher am Ende von Wasserleitungen angelegt, deren Volumen z.T. mehr als 10.000 m³ betrug. Als hervorragendes Beispiel sei nur die berühmte »Piscina Mirabilis« am Cap Misenum, am Ende der augustäischen Serino-Leitung um den Golf von Neapel verwiesen. Aber ähnliche Großzisternen sind u.a. aus Karthago, Konstantinopel oder Smyrna bekannt.

Abb. 1.11-6: Abgebrochene Zisterne an der Akropolis von Aspendos (Türkei).

Temporärer Transfer - Talsperren als Großspeicher

Von einem sumerischen Schöpfungsmythos (PETTINATO 1971) aus dem 3. Jahrtausend v. Chr. darf geschlossen werden, dass das Klima zu der Zeit in Mesopotamien bereits arid bzw. semiarid war, denn es wird berichtet, dass die Felder bewässert werden mussten, um Erträge zu erzielen. In dem Text ist von einem Haufen Steinen, einer Barriere und zurückgehaltenem und gesammeltem Wasser die Rede. Zweifellos handelt es sich dabei um eine Talsperre, um Wasser zu fassen und zu speichern, um die Probleme in der trockenen Jahreszeit zu überwinden. Dieser Text zeigt, dass die Anwendung des temporären Transfers offensichtlich ebenso Allgemeingut war wie das Bewusstsein, dass hydrotechnische Anlagen gewartet und bei Schäden repariert werden mussten.

Die Richtigkeit dieser Überlegungen wird nicht nur durch die zuvor erwähnten Vorläufer des »Marib-Dammes«, sondern vor allem durch den Nachweis quasi einer »Talsperrenkultur« in Belutschistan (Pakistan) unter Beweis gestellt. BRUNNER (2006) berichtet über 10 Dämme, sog. *gabarbands*, allein in den Flusstälern von Känräch, Hab und Särūna, von denen acht in das 3. Jahrtausend v. Chr. datiert werden. Diese Dämme versperrten die Flusstäler an Engstellen, so dass neben dem Wasser auch die Sedimente zurückgehalten wurden und Schwebstoffe sich aus dem Wasser absetzen konnten. Auf diese Weise entwickelten sich Feldterrassen in die genug Wasser infiltrieren konnte, um nach Ablauf des Wassers das Land zu kultivieren und letztendlich eine Ernte zu erzielen. Allem Anschein nach handelt es sich hier um die frühe Form der später vor allem von den Nabatäern zur Perfektion entwickelten Technik, die un-

ter dem Namen »rainwater-harvesting« heute rund ums Mittelmeer eine Renaissance erlebt.

Bisher galten der Jawa-Damm in der Basaltwüste Nordjordanien und der Sadd-el-Kafara im Wadi Garawi in Ägypten als die ältesten Talsperren. Dem Vernehmen nach wurde der Jawa-Damm am Beginn und der Sadd-el-Kafara ca. in der Mitte des 3. Jahrtausend v. Chr. datiert.

Die Stauanlage in Jordanien (Abb. 1.11-7) war etwa 5 m hoch und 80 m lang (VOGEL 1991). Die heutigen Überreste zeigen, dass das Bauwerk aus zwei Trockenmauern aus Basaltsteinen mit einem Erdkern dazwischen und wasserseitig einem Lehmkeil davor bestanden hat. Das Speichervolumen vor diesem Damm und in drei weiteren Teichen wird zu ca. 42.000 m³ angegeben. Der Oberflächenabfluss nach den winterlichen Niederschlägen im oberen Einzugsgebiet des Wadi Rashid konnte auf diese Weise gefasst und gespeichert werden und bildete so das Rückgrat der Wasserversorgung der hier lebenden Menschen in der Bronzezeit.

Der Sadd-el-Kafara (Abb. 1.11-8) ist wohl die älteste detailliert untersuchte Talsperre der Welt (GARBRUCHT & BERTRAM 1983). Die Säuberung und anschließende Vermessung des Sperrbauwerks ergab, dass der 12 m hohe Mehrzonendamm mit 56 m Kronen- und 98 m Basisbreite außergewöhnlich große Abmessungen aufwies. Den Kern bildete eine breite Schüttung aus Talschotter, schluffigen Sanden und Kiesen. Sowohl oberwie auch unterwasserseitig folgte eine unregelmäßige Steinschüttung aus Bruchsteinen, die wiederum jeweils mit sorgfältig behauenen Kalksteinen abgedeckt war. Das Material für den Bau wurde in Steinbrüchen an den Talflanken, sowohl oberwie unterwasserseitig des Dammes gewonnen. Der Transport der Massen erfolgte, sobald eine gewisse Höhe erreicht war, über



Abb. 1.11-7: Der Jawa-Damm (Jordanien).

Rampen.

Die Vermessungsergebnisse und insbesondere das Aussehen der Krone auf dem südlichen Torso, hier liegt das abgekippte Material noch in Haufen ohne je geplant worden zu sein, legten den Schluss nahe, dass der Damm nie fertig gestellt wurde und dass ein Hochwasser im Wadi den mittleren Bereich des Bauwerks wegerodiert hat, bevor der Bau vollendet war.

Es muss aber betont werden, dass die von den Baumeistern gewählte Konstruktion einem Hochwasserereignis jederzeit Stand gehalten hätte, wäre das Bauvorhaben vollendet gewesen, da eine Umströmung der südlichen Dammkrone auf der Geländeterrasse im Sinne einer Hochwasserentlastungsanlage erfolgt wäre. Darüber hinaus hätte die Steinabdeckung eine Erosion des Kerns bei Überströmung des Bauwerks verhindert.

Der Zweck des Dammes ist unbekannt. Vermutlich ist der Bau des Sadd-el-Kafara mit Alabastersteinbrüchen im oberen Teil des Wadi Garawi in Verbindung zu bringen, vielleicht in Zusammenhang mit Versuchen, die gewonnenen Alabastersteine auf einer zu nässenden Schlittenbahn aus Nilschlamm zu transportieren (FAHLBUSCH 1996). Einen Nachweis dafür gibt es aber nicht.

Bei den frühen Talsperren, dem Jawa-Damm, dem Sadd el Kafara, bei den *gabarbands* in Belutschistan und auch in Marib legen die Bauwerksreste den Schluss nahe, dass den Erbauern das Problem einer Gefährdung durch Extremhochwasser bewusst war, so dass mit großem Einfühlungsvermögen in hydraulische Zusammenhänge entsprechende Vorkehrungen getroffen wurden.

Die frühen Dämme besaßen keine separate Dichtung. Dieses wichtige konstruktive Element scheint zum ersten Mal von den Hethitern angewendet worden

zu sein, wie HÜSER (2006) im Zusammenhang mit den Dämmen von Sarissa berichtet. Dort verhinderte eine Tondichtung, die in den Untergrund eingebettet war, nicht nur die Durchsickerung der Stauanlage, sondern zusätzlich noch deren Unterströmung – ein Meilenstein in der technologischen Entwicklung des Talsperrenbaus.

Eine Einrichtung zur Wasserentnahme ist aber weder beim Jawa-Damm noch beim Sadd-el-Kafara noch bei den *gabarbands* nachgewiesen. Anscheinend sind die Anlagen in Marib die ersten systematisch geplanten Entnahmebauwerke, die bei Stauanlagen bekannt geworden sind. Sowohl bei Anlage A als auch bei B1 und B2 wurden massive ein- bzw. zweifeldrige Ableitungsbauwerke nachgewiesen (HERBERG 1987 und 1988, SCHALOSCKE 1995), deren sorgfältige Konzeption ohne entsprechende Erfahrung an Vorgängerbauwerken nur schwer vorstellbar ist.

Das Beispiel des Jawa-Damms zeigt ebenso wie das des etwa zeitgleichen Sadd el Kafara in Ägypten, dass es bereits sehr früh möglich war, lange, hohe und kostspielige Stauanlagen zu errichten. Aber derart große und wohldurchdachte Bauwerke sind sicherlich nicht aus dem »Nichts« entstanden, sondern das Ergebnis einer langen Entwicklung gewesen sein, nur kennen wir diese kaum. FUJII (2007) entdeckte in der jüngsten Vergangenheit in den Wadis Abu Tulayha und Ruweishid ash-Sharqi (SüdJordanien) quer zum Tal verlaufende Steinstrukturen, die er für Reste von Stauanlagen zur Speicherung von Bewässerungswasser hält und die in das 7. Jahrtausend v. Chr. datiert werden. Sollte sich diese Hypothese bestätigen, wären dies die ältesten bisher archäologisch nachgewiesenen Speicherbauwerke. Aber Schlussfolgerungen über deren Bauweise gestatten die spärlichen Reste nicht.



Abb. 1.11-8: Der Sadd-el-Kafara im Wadi Garawi (Ägypten).

Lokaler Transfer

Auch für den lokalen Transfer ist davon auszugehen, dass die notwendigen Bauwerke zum Leiten von Wasser über lange Zeiträume entwickelt wurden. Nur kennen wir die Details dieser Entwicklung nicht, vermutlich weil all die kleinen lokal durchaus bedeutsamen Gräben oder Kanäle im Laufe der Geschichte verschwunden sind. Dem Vernehmen nach sind im Zusammenhang mit der Kupferverhüttung kleine, künstliche Wasserläufe im Wadi Fenan (Jordanien) noch vorhanden, die dann schon im 4. Jahrtausend v. Chr. angelegt worden wären. Eine Dokumentation darüber gibt es aber bisher nicht.

Ein Beispiel für das gezielte Leiten von Wasser in einem künstlich geschaffenen Bett ist das Bewässerungsprojekt des Tell Hujayrat-al-Ghuzlan bei Aqaba, das in die 1. Hälfte des 4. Jahrtausends v. Chr. datiert wird. Gespanntes, unter Druck stehendes Grundwasser tritt aufgrund der speziellen hydrogeologischen Gegebenheiten in einem »Quellfeld« zu Tage. Die unmittelbare Nutzung diente sicherlich der Trinkwasserversorgung für Mensch und Vieh. Dafür nicht genutztes, abfließendes Wasser wurde jedoch mit Hilfe von Leitverwallungen aus unbehauenen Steinen und mit Lehm abgedichteten Fugen in ein weitläufiges Terrassensystem geleitet (Abb. 1.11-9). Sinterablagerungen an den Steinen der Kanäle belegen die Funktion und damit den räumlichen Transfer von Wasser. Das Ausmaß des Terrassensystems deutet auf ergiebige landwirtschaftliche Erträge hin, die Garant für eine blühende Entwicklung der Lebensgemeinschaft war (HEEMEIER et al. 2008).

Ein ähnliches Leitungssystem befindet sich im Wadi Rashid am östlichen Fuß des Hügels von Jawa. Hier wurde der Abfluss nach Regenfällen im Winter durch

eine quer zum Wadi angeordnete Steinreihe zumindest partiell in einen flachen, seitlich durch gesetzte Steine begrenzten, einige hundert Meter langen Kanal abgeleitet (Abb. 1.11-10), durch den zwei Teiche gefüllt wurden, wohl um ausreichend Wasser zur Versorgung des Viehs im Sommerhalbjahr zur Verfügung zu haben.

Wann die ersten großmaßstäblichen Überleitungen angelegt worden sind, ist bisher unbekannt. Im 2. Jahrtausend v. Chr. gab es in der Kopais-Ebene in Griechenland ein wasserwirtschaftliches Mehrzweckprojekt, bei dem Entwässerungs- und Schiffahrtskanäle eine bedeutende Rolle spielten (KNAUSS 1987).

Aus dem Ende des 2. Jahrtausend v. Chr. ist ein nahezu 100 km langer, schiffbarer Kanal parallel zum Hübür bekannt, der allem Anschein nach der Bereitstellung von Wasser für Felder um das Regionalzentrum Dur-Katlimmu diene. Dieser Kanal wies mit ca. 0,3 % bereits ein extrem geringes Gefälle auf. Am Beginn des 1. Jahrtausend v. Chr. ist ein gleichartiger Kanal dann auf der anderen Flussseite angelegt worden (ERGENZINGER & KÜHNE 1991). Beide Wasserbauwerke harren noch einer detaillierten Erforschung.

Relativ gut bekannt sind die Verhältnisse im Zentrum des assyrischen Reiches. Hier hat König Sanherib (705–681 v. Chr.) zur Verbesserung der Wasserwirtschaft bei der Hauptstadt Ninive, in der Nähe der heutigen Stadt Mossul (Irak), eins der größten Wasserüberleitungsprojekte der Antike, den Sanherib-Kanal, bauen lassen, über das es gute Informationen durch drei Bauinschriften gibt (BAGG 2000).

Mit Hilfe eines Ableitungsbauwerks in der Schlucht bei Bavian wurde Wasser des Atrush-Flusses in einen etwa 35 km langen Kanal zum Khosr-Fluss geleitet (Abb. 1.11-11). Das bedeutendste Bauwerk im Verlauf



Abb. 1.11-9: Leitverwallungen aus unbehauenen Steinen und mit Lehm abgedichteten Fugen im Bewässerungsprojekt des Tell Hujayrat-al-Ghuzlan bei Aqaba (Jordanien) (mit freundlicher Genehmigung des Autors B. Heemeier).

der Trasse war eine 290 m lange, 9 m hohe Brücke bei Jerwan mit fünf Spitzbögen, deren Reste 1933 freigelegt wurden. Der Kanal auf der Brücke wies eine Breite von 19 m auf, mehr als das 10-fache der berühmten großen Wasserkanäle Roms. Die Tiefe des Kanals betrug mehr als 2 m, aber es ist unbekannt, wie groß das Maß des abfließenden Wasser war. Wird nur 1 m Abflusstiefe angenommen, so dürften mehr als 100 m³/s in dem mit über 1% Gefälle aufweisenden, relativ steilen Wasserlauf geflossen sein.

Archäologisch ist die Reparatur eines Schadens, möglicherweise durch ein Hochwasser, nachgewiesen. Demnach dürfte der Kanal in Betrieb gewesen sein. Wie lange er funktioniert hat, ist nicht bekannt. *Abb. 1.11-12* zeigt ein Relief, das heute im Britischen Museum in London hängt und das aus dem Palast des assyrischen Königs Assurbanipal (669–626 v. Chr.) stammt. Darauf ist die Bewässerung einer Plantage zu erkennen. Das Wasser kommt von einer spitzbogigen Brücke, vielleicht dem Jerwan-Aquädukt. Das Relief ist sicherlich eine der ersten technischen Darstellungen der Geschichte, zumindest in Bezug auf Wasserbauwerke. Gleichzeitig war es eine gute Methode für den Wissens- bzw. Technologietransfer, denn Besuchern wurde anhand der Darstellung vermutlich erklärt, wie Wasser über Senken oder Flusstäler hinweg geleitet werden konnte.

Mitte des 1. Jahrtausend v. Chr. erblühten die Stadtstaaten in Griechenland. Der aufkeimende Wohlstand führte vielerorts zum Bau von Wasserversorgungssystemen, wie z.B. in Athen oder Samos. Tonrohrleitungen waren unterirdisch oft in Tunneln verlegt, damit ein Feind die Versorgungsadern bei einer Belagerung nicht finden sollte. Kernstück der Leitung auf Samos, ist der im Gegenort aufgeführte Eupalinostunnel, den HERODOT zu den größten Bauwerken in Hellas zählte.

KIENAST (1995) hat nachgewiesen, dass der antike Baumeister Eupalinos den im Grundriss mehrfach abknickenden Tunnel sowohl in der Horizontalen als auch Vertikalen sehr sorgfältig vermessen hat.

In Herakleia am Lathmos scheint das Prinzip der kommunizierenden Röhren in Form einer Aneinanderreihung von Drucksträngen erstmalig in großem Umfang bei einer Wasserleitung in der klassischen Antike angewandt und dann in Pergamon perfektioniert worden zu sein. Das Ende der mehr als 50 km langen, dreisträngigen Madradaleitung bildete dort ein etwa 3,5 km langer Druckstrang aus gegossenen Bleirohren, der auf der Spitze des Burgberges im Bereich der Königspaläste endete (*Abb. 1.11-13*). Die maximale Druckbeanspruchung von etwa 190 m Wassersäule war ein Weltrekord für anscheinend mehr als 1800 Jahre.

Die in den Rohrleitungen griechischer Städte fließende Wassermenge war begrenzt. So werden auf den Burgberg von Pergamon nur etwa 30 l/s gelangt sein. Dagegen dürfte der Durchfluss in der 312 v. Chr. in Betrieb genommen Aqua Appia, der ersten Leitung Roms, bereits mehr als 500 l/s betragen haben, wenn die von Frontinus überlieferten Messergebnisse aus dem 1. Jahrhundert n. Chr. berücksichtigt werden (FAHLBUSCH 1989). Offen ist die Frage, warum in Rom keine Fernwasserleitungen aus Tonrohren installiert wurden? Lag es am Einfluss von Syrakus, wo bereits vorher ein entsprechender Kanal gebaut worden war.

Während der Pax Romana, der großen Friedensperiode im Innern des römischen Weltreiches, erhielten viele Städte im Römerreich eine oder sogar mehrere Wasserversorgungskanäle. In Deutschland ist sicherlich die nahezu 100 km lange Eifelleitung für Köln am berühmtesten. Für Xanten am Niederrhein wurde ein Kanal konstruiert, der offensichtlich mit einem Thermokern das



Abb. 1.11-10: Ableitungskanal für Wasser aus dem Wadi Rashid bei Jawa (Jordanien).

Gefrieren des Wassers in der Leitung während der damals sehr strengen Winter verhindern sollte (OHLIG 2007).

Im Verlauf von Wasserleitungen wurden die Leitungen auf Aquädukten über Täler und Senken oberirdisch geführt. Diese Wasserbrücken gelten daher als Synonym für römische Wasserleitungen. Der 48 m hohe Pont du Gard in Südfrankreich, der mörtellos aus

Quadern vor fast 2000 Jahren gebaut wurde und seither allen Stürmen getrotzt hat, der elegante, grazile Aquädukt im Stadtkern von Segovia oder die lange Bogenreihe der Aqua Anio Novus und Aqua Claudia in der Campagna vor den Toren Roms (Abb. 1.11-14) seien nur als Beispiele genannt.

Geländeeinschnitte von 50 m Tiefe und mehr

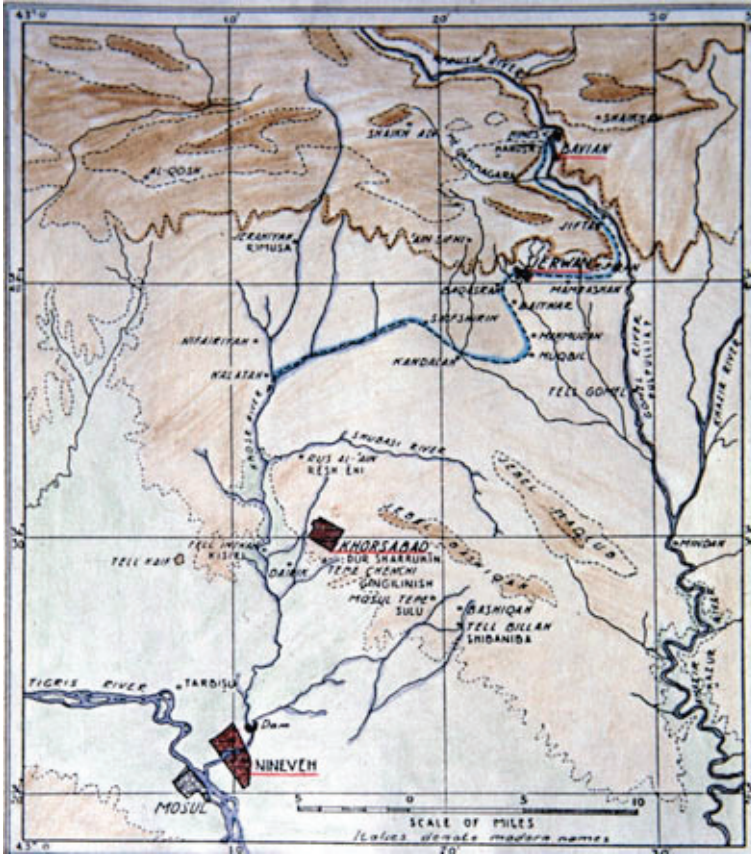


Abb. 1.11-11: Karte des Jerwan-Kanals in dem Wasser des Atrush-Flusses zum Khosr-Fluss geleitet wurde (Quelle: Forbes 1964 – ergänzt von U. Buske) Mit freundlicher Genehmigung der Autorin).



Abb. 1.11-12 Bewässerung eines Gartens mit Wasser, das über eine Spitzbogenbrücke geleitet wurde. Relief aus dem Palast von Ashurbanipal (ca. 645 v. Chr.) – (British Museum London)

wurden auch in römischer Zeit mit Hilfe von Druckleitungen überwunden. Die große Wassermenge erzwang dabei oft die Installation mehrerer paralleler Rohrstränge. Für die Herstellung der Bleirohre wurde ein neues Verfahren entwickelt, bei dem Bleiplatten um einen Formzylinder gebogen und dann am Stoß verlötet wurden, was die Herstellung vergleichsweise dünnwandiger Rohre ermöglichte. Dennoch konnten nicht überall Bleidruckleitungen installiert werden, so dass vielerorts Druckstränge aus Steinrohren konstruiert wurden (Abb. 1.11-15).

Die römischen Fernwasserleitungen endeten meist in einem Verteilungsbauwerk, einem *castellum aquae*, an einem Hochpunkt der Stadt. Von hier floss das Wasser dann in die einzelnen Stadtregionen zur weiteren Nutzung. In Pompeji lassen sich diese innerstädtischen Elemente des Wasserverteilungssystems noch vielerorts beobachten.

Ermöglicht wurden die römischen Wasserversorgungssysteme aber nicht zuletzt aufgrund der Entwicklung des *opus caementitium*, eine Art Kalkbeton, der ein kostengünstiges, fast industrialisiertes Bauen gestattete, und des *opus signinum*, einem hydraulischen Mörtel, mit dessen Hilfe die Kanäle gedichtet wurden und der eine gute Funktionsfähigkeit garantierte.

Um die Bedeutung des Wassers für Rom zu charakterisieren, sei nur PLINIUS zitiert: »Wenn man die

große Menge Wasser an öffentlichen Orten, in Bädern, Fischteichen, Häusern Kanälen, Gärten, den Gütern bei der Stadt, Landhäusern, dann zu dessen Herleitung gebauten Bogen, durchgrabene Berge und geebnete Täler mit Aufmerksamkeit betrachtet, so muss man gestehen, dass die ganze Welt kein grösseres Wunderwerk aufzuweisen hat«. Und Sextus Julius FRONTINUS FRONTINUS (ca. 40–103 n. Chr.), curator aquarum Roms am Ende des 1. Jahrhundert n. Chr., urteilt in seinem Buch *De Aquaeductu Urbis Romae*: »Mit diesen so vielen und so notwendigen Wasserleitungen kannst Du natürlich vergleichen die überflüssigen Pyramiden oder die übrigen nutzlosen, weithin gerühmten Werke der Griechen!« (Übersetzung FRONTINUS 1989).

Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Die aufgeführten Beispiele für die Bewirtschaftung des Wassers mit den dafür notwendigen technischen Anlagen in den verschiedenen geschichtlichen Phasen und Gesellschaften zeigen, dass Probleme in Bezug auf Wasser bereits vor etlichen tausend Jahren hervorragend gelöst wurden. Bis heute gibt es keine grundsätzlich anderen Methoden der Wasserbewirtschaftung außer den aufgeführten. Vom wissenschaftlichen Standpunkt aus betrachtet, belegen die Beispiele vor allem, dass der hohe technische Standard der Anlagen durch



Abb. 1.11-13: Blick von der Wasserkammer am Einlauf der Hochdruckleitung Pergamons auf den Stadtberg.



Abb. 1.11-14: Die Aqua Claudia und Aqua Anio Novus auf einem Aquädukt in der Campagna nahe Rom.



Abb. 1.11-15: Die steinerne Druckrohrleitung von Patara (Türkei).

einen langwierigen Entwicklungsprozesses erreicht wurde. Aber bis heute ist unbekannt, wann und unter welchen Bedingungen dieser Prozess begann.

Literatur

- ABDEL GHAFFAR SHEDID (1999): Das Grab des Sennedjem, Mainz. 112 pp.
- BAGG A. (2000): Assyrische Wasserbauten, Mainz. 84 T. 440 pp.
- BRUNNER H. (1991): Die Weisheitsbücher der Ägypter, Zürich. 530 pp.
- BRUNNER U. (2000): The Sustainability of the Ancient Great Dam of Ma'rib in Yemen. In: ICID Journal 49:4, 2000, 49-61.
- BRUNNER U. (2006): Notes on garbabands in Balochistan. In: Archäologische Mitteilungen aus Iran und Turan 38, 2006, 103-135.
- ERGENZINGER P.J. & KÜHNE H. (1991): Ein regionales Bewässerungssystem am Hübür. In: KÜHNE H. (Hrsg.) Die rezente Umwelt von Tell Schech-Hamad und Daten zur Umweltrekonstruktion der assyrischen Stadt Dür-Katlimmu, Berlin. 163-190.
- FUJII S. (2007): Wadi Abu Tulaya and Wadi Ruweishid ash-Sharqi: An Investigation of PPNB Barrage Systems in the Jafr Basin. In: Neo-Lithics 2/07, 6-17.
- FAHLBUSCH H. (1996): Ancient dams in Egypt; in: Proceedings of the XVIth congress of ICID – History Seminar, Cairo 1996, 21-42.
- FAHLBUSCH H. (1989): Über Abflußmessung und Standardisierung bei den Wasserversorgungsanlagen Roms. In: FRONTINUS S.J. (1989): Wasserversorgung im antiken Rom. Übersetzung Kühne G., München. 129-144.
- GARBRECHT G. (2001): Altertümer von Pergamon I,4, Berlin. 341 pp.
- GARBRECHT G. & BERTRAM U. (1983): Sadd-el-Kafara – Die älteste Talsperre der Welt (2600 v. Chr.). Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der TU Braunschweig, Heft 81; Braunschweig. 310 pp. + 32 Pläne
- HEEMEIER B., RAUEN A., WALDHÖR M. & GROTTKER M. (2008): Tall Hujayrat al-Ghuzlan – Das wasserwirtschaftliche System einer prähistorischen Siedlung in SüdJordanien. In: OHLIG C. (Hrsg.): Cura Aquarum in Jordanien - Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft XII, Siegburg 2008, 119-153.
- HERBERG W. (1987): Baukomplex B im Wādī Dana. In: Archäologische Berichte aus dem Yemen III 1986, Mainz 1987. 33-57.
- HERBERG W. (1988): Vorläufiger Bericht über baugeschichtliche Untersuchungen der Bauanlage A im Wādī Dana. In: Archäologische Berichte aus dem Yemen IV 1987, Mainz. 98-131.
- HORNUNG E. (1990): Das Totenbuch der Ägypter, Zürich. 545 pp.
- HÜSER A. (2006): Wasser für Sarissa. In: Antike Welt 5/2006. 93-97.
- KIENAST H. (1995): Die Wasserleitung des Eupalinos auf Samos, Bonn. 215 pp.
- KNAUSS J. (1987): Die Melioration des Kopaisbeckens durch die Minyer im 2. Jt. V. Chr.; Institut für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft und Versuchsanstalt für Wasserbau Oskar v. Miller-Institut in Oberrach TU München Bericht 57, München. 316 pp.
- OHLIG C. (2007): Die Wasserleitung zur Colonia Ulpia Traiana (Xanten) – Beobachtungen, Thesen, Projektplanung. In: OHLIG C. (Hrsg.): Von der cura aquarum bis zur EU-Wasserrahmenrichtlinie - Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft XI,1 Siegburg 2007, 139–208.
- PETTINATO G. (1971): Das altorientalische Menschenbild und die sumerischen und akkadischen Schöpfungsmythen, Heidelberg 1971, S. 93 u. 94.
- PLINIUS C. (2007): Die Naturgeschichte, übersetzt von G.C. Wittstein. In: MÖLLER L. & M. VOGEL (Hrsg.), Wiesbaden. Bd. I. 890 pp.
- SCHALOSCHKE M. (1995): Untersuchungen der Sabäischen Bewässerungsanlagen in Märib, Mainz. 176 pp. +19 T.
- STRABO (2005): Geographica; Übersetzung Forbiger A., Wiesbaden. 1342 pp.
- VOGEL A. (1991): Die kupferzeitlichen Dämme von Jawa in Jordanien. In: DVWK (ed.) Historische Talsperren 2, Stuttgart. 9-18.

Prof. Dr. Ing. Henning Fahlbusch
Deutsche Wasserhistorische Gesellschaft (DWhG)
Fachhochschule Lübeck - FB Bauwesen
Mönkhofer Weg 239 - 23562 Lübeck
fahlbusch@freenet.de