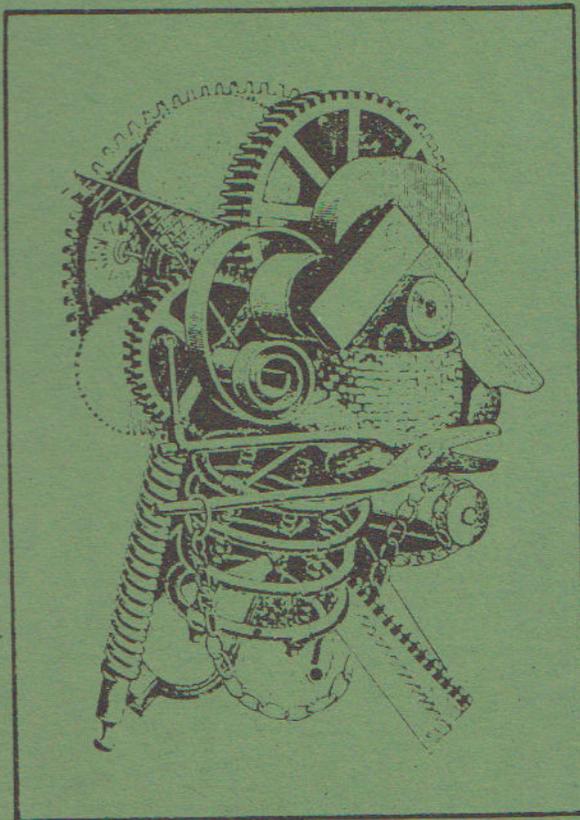


# Soznat

**Materialien für den Unterricht 12**

**Klaus Hahne**



**Wem  
hilft  
Technik?**

**Naturwissenschaften sozial**

C I P - Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

HAHNE, KLAUS:

Wem hilft Technik? ; Histor. Beispiele einfacher u.  
zusammengesetzter Maschinen u. ihrer gesellschaftl.  
Anwendung; Materialien zu e. Unterrichtsreihe /  
Klaus Hahne. Hrsg.: AG Chemie u. Physik in d.  
Oberstufe. - 4. Aufl. - Marburg : Redaktionsgemeinschaft  
Soznat, 1983.

(Soznat ; 12)  
ISBN 3-922850-14-6

NE: GT

4. Auflage

(c) Redaktionsgemeinschaft Soznat Marburg  
Im Gefälle 31 a, 3550 Marburg  
Druck: Sozdruck Marburg

Alle Rechte vorbehalten - Kopien für Unterrichtszwecke erlaubt

ISBN 3 - 922850 - 14 - 6

K L A U S H A H N E

W E M H I L F T T E C H N I K ?

HISTORISCHE BEISPIELE EINFACHER UND ZUSAMMENGESETZTER  
MASCHINEN UND IHRER GESELLSCHAFTLICHEN ANWENDUNG

Materialien zu einer Unterrichtsreihe

MARBURG 1983

REDAKTION: A. KREMER, L. STÄUDEL

HERAUSGEBER: AG CHEMIE UND PHYSIK IN DER OBERSTUFE  
C/O LUTZ STÄUDEL, GESAMTHOCHSCHULE KASSEL,  
FB 19, HEINRICH-PLETT-STR. 40, 3500 KASSEL

## INHALT

I.	<u>DIDAKTISCHE UND METHODISCHE ASPEKTE DES THEMAS "WEM HILFT TECHNIK?"</u>	
1.	Zum Unterschied zwischen Wissenschafts- und Alltagserfahrung im Umgang mit Maschinen	S. 1
2.	Historische Technikbetrachtung als Bestand- teil eines integrierten Ansatzes	S. 4
3.	Methodische Überlegungen	S. 4
II.	<u>TECHNIK- UND SOZIALGESCHICHTE EINFACHER UND ZUSAMMENGESETZTER MASCHINEN</u>	
	Aspekte der Technikentwicklung als Teil der Entwicklung der Produktivkräfte im Altertum, im Mittelalter und zu Beginn der Neuzeit	S. 5
III.	<u>UNTERRICHTSSITUATIONEN</u>	
1.	Wasserhebergeräte in den hydraulischen Gesellschaften	S. 22
2.	Schwertransport in Mesopotamien	S. 27
3.	Das Schwungrad in der Fördermaschine	S. 31
IV.	<u>BILD-QUELLEN, TEXTE UND MATERIALIEN</u>	
1.	Vom Wasserheben für Bewässerungszwecke	S. 38
2.	Transportieren und Heben von Lasten	S. 51
3.	Fördern und Entwässern im Bergbau	S. 62
V.	Literatur	S. 83

I. DIDAKTISCHE UND METHODISCHE ASPEKTE DES THEMAS  
"WEM HILFT TECHNIK?"

1. Zum Unterschied zwischen Wissenschafts- und Alltagserfahrung im Umgang mit Maschinen

Einfache Maschinen sowie zusammengesetzte Maschinen dienen physikalisch gesehen dazu, Kräfte nach Größe und Richtung umzuwandeln. Sie können keine "Arbeit sparen" helfen, da das Skalar-Produkt  $W = F \cdot s$  (Arbeit = Kraft  $\cdot$  Weg) immer gleich bleibt. In vielen Fällen (Hebel, schiefe Ebene, Rolle, Keil) werden einfache und zusammengesetzte Maschinen dazu benutzt, die für bestimmte Arbeitszwecke benötigten Kräfte (auf Kosten eines längeren Weges) zu reduzieren.

Diese abstrakt physikalische Betrachtung einfacher Maschinen geht sowohl an der historisch-gesellschaftlichen wie an der technischen Bedeutung von einfachen Maschinen vorbei:

Die physikalischen Begriffe von Kraft und von Arbeit stehen den Alltagsbegriffen von Kraft und Arbeit unvermittelt gegenüber und bedürfen, hält man ihre Vermittlung für notwendig, einer Einführung in ihre Entwicklungsgeschichte.

Da der physikalische Kraft-Begriff nur schwierig zu vermitteln ist (1), wird in der Mittelstufe häufig nur das -vom physikalischen Standpunkt aus gesehen- "falsche" Bild vermittelt, daß Kräfte wirken, wenn Körper sich bewegen oder verformen, und umgekehrt, daß man aus Bewegungen oder Verformungen von Körpern auf das Wirken von Kräften schließen kann.

In der Oberstufe dagegen wird der "richtige" Kraft-Begriff eingeführt, wonach Kräfte sich als Bewegungsänderung und Verformung von Körpern auswirken und daran auch erkennbar sind.

Von der Alltagserfahrung, daß man Kräfte braucht, um etwas in Bewegung zu setzen und in Bewegung zu halten, ist dieser physikalische Kraft-Begriff jedoch weit entfernt, zumal bei diesem von jedweder Reibung abstrahiert wird.

Der Alltagserfahrung (und auch der experimentell erschließbaren Erfahrung) ist nur zugänglich, daß man auch zur gleichförmigen Bewegung eines Gegenstandes und nicht nur zu seiner Beschleunigung Kraft aufwenden muß, ohne die er früher oder später zum Stehen kommt (z.B. Fahrrad fahren).

Noch größer klafft die Alltagserfahrung und die physikalische Erklärung des Arbeits-Begriffs bei der sog. "goldenen Regel" der Mechanik auseinander:

---

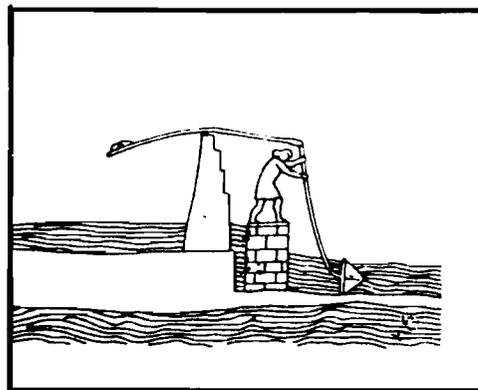
(1) Vgl. W. Jung, H. Wiesner, P. Engelhardt: Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik. Empirische Untersuchungen und Aufsätze zu didaktisch-methodischen Folgerungen. Bad Salzdetfurth 1981.

Jeder kann täglich die Erfahrung machen, daß er sich mit einfachen Maschinen die Arbeit erleichtern oder sogar erst ermöglichen kann. Man versuche nur einmal einen Autoreifen ohne Verwendung eines Wagenhebers (einfache Maschine: Keil, gewundene Schrauben) und eines Radmutter Schlüssels (einfache Maschine: Hebel) zu wechseln. Die "goldene Regel" der Mechanik sagt aus: Die Arbeit, das Skalar-Produkt von Kraft und Weg, bleibt gleich.

Eine zweite Unzulänglichkeit der ausschließlich physikalischen Betrachtungsweise der Arbeit besteht darin, daß von der Körperlichkeit der Arbeit abstrahiert wird.

Hierzu ein Beispiel:

Ein Schaduf - rein physikalisch betrachtet - kann keine Arbeit erleichtern und erspart Kraft nur insofern, als der mit dem Stein beschwerte Hebelarm länger ist, als der Hebelarm mit dem Schöpfgefäß. A. Neuburger beschreibt die Funktionsweise des Schadufs wie folgt (Neuburger, S. 207): "Ein zweiarmiger, an seinem hinteren, kürzeren Arm beschwerter Hebel trägt am vorderen längeren Arm das Schöpfgefäß. Die Arbeiter wirken am längeren Arm."



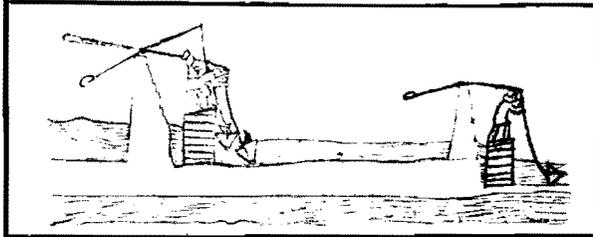
(aus Jonas u.a. S. 77)

Die nebenstehende Abbildung zeigt jedoch, daß die Armlänge beim Schaduf nicht sehr unterschiedlich ist, so daß bloße Krafterparnis durch Hebelanwendung nicht als Hauptfunktion des Schadufs akzeptiert werden kann. Die Arbeitersparnis durch den Schaduf läßt sich erst erschließen, wenn man den Vorgang des Schöpfens ohne Hilfsgerät mit der Arbeit am Schaduf vergleicht: Der Arbeiter braucht sich nicht mehr zu bücken, den Eimer zu füllen und dann zu heben. Er braucht nur noch an dem Seil des Schadufs zu ziehen, um das leere Schöpfgerät gegen das Gewicht wieder zum Füllen ins Wasser zu tauchen. Die Raffinesse der Arbeitserleichterung besteht also darin, daß die Richtung der Kraft geändert wird; statt nach oben zu heben wird von oben gezogen, wobei das Rückgrat nicht belastet wird, und das Körpergewicht eingesetzt werden kann.

Dies wird dadurch erreicht, daß das Ausgleichsgewicht am kürzeren Hebel genauso schwer oder etwas schwerer ist, als das mit Wasser gefüllte Schöpfgefäß. Während also das gefüllte Schöpfgefäß fast von allein hochkommt, muß nur das leere Schöpfgefäß mit einer Kraft heruntergezogen werden, die gleich oder bei längerem Hebelarm geringer ist, als das Gewicht des Schöpfinhalts.

Die bloß physikalische Betrachtung des Schadufs läßt ihn wahrscheinlich als langweiligen und nicht einmal besonders effektiven zweiseitigen Hebel erscheinen. Erst die ganzheitliche Betrachtung des Arbeitsprozesses oder besser noch des Nachvollzugs an

großen Modellen oder richtigen Ziehbrunnen (gleiches Prinzip) zeigt die Funktion des Gerätes für die Erfüllung und Erleichterung der Arbeitsaufgabe. Um diese Funktion des Gerätes deutlich zu machen, ist demnach zunächst eine ganzheitliche Betrachtung des Arbeitsprozesses notwendig. Diese muß dann aber auch das gesellschaftlich-historische Umfeld miteinbeziehen:

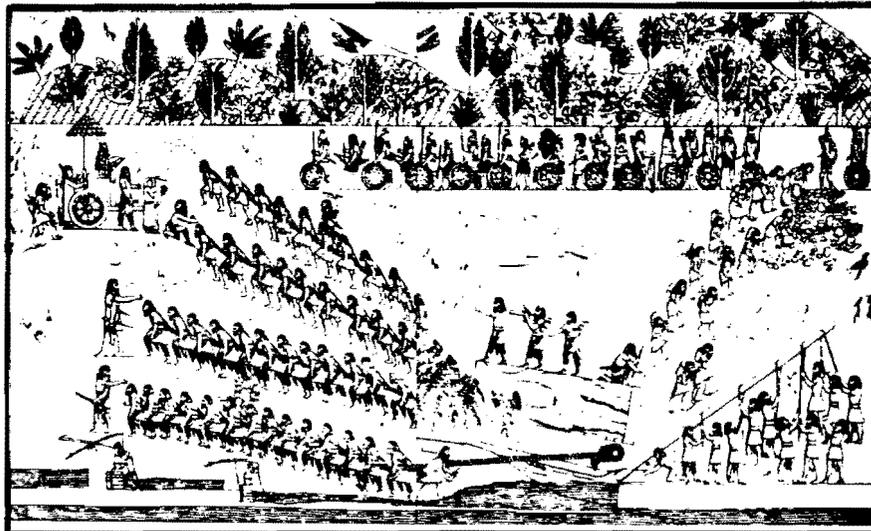


Schaduf in Babylon. Anwendung des zweiarmligen Hebels zum Wasserhöpfen. (Die Stundenleistung des Schaduffs beläuft sich, wenn drei Leute daran arbeiten, auf 6 cbm Wasser.) Nach einem Relief aus dem 7. Jahrh. v. Chr. am Palast zu Ninive.

(aus: Neuburger, S. 207)

Während das Schaduf für sich betrachtet eine enorm arbeitssparende Maschine ist, gewinnt man beim Betrachten des ganzen Reliefs am Palast zu Ninive (dem das Schaduf entnommen ist) eine andere Einsicht, dergestalt, daß die erhöhte Produktivität und die Arbeitersparnis, die die Flußregulierung und wasserhebenden Geräte für die "hydraulischen Gesellschaften" (Wittfogel)

mit sich brachten, keine Erleichterung für die Bauern bedeutete. Vielmehr wurde der von der unmittelbaren agrarischen Produktion freigesetzte Bevölkerungsteil (die Wasserbaumaßnahmen bewirkten ein starkes Ansteigen der Nahrungsmittelproduktion im Verhältnis zur eingesetzten Arbeitskraft) nun in Fronarbeit (Wittfogel, S. 77), zum Aufbau gewaltiger Monumente (Palast von Ninive, ägypti-



Transport auf Kufen bei den Ägyptern. Basrelief zu Kujundschit.

Die auf Kufen gestellte Last wird vorn gezogen, während hinten mittels eines Hebebaums nachgemacht wird, dessen unteres Ende auf der einen Seite durch einen dagegenliegenden Klotz am Abgleiten verhindert wird. Unter den Kufen hölz. wahrscheinlich Rundhölzer, die vermutlich dazu dienen, die gleitende Reibung in eine rollende zu verwandeln. Hierfür und für ihre Querlage spricht die Art, wie der Mann das Holz, das er unterlegen will, hält, und die perspektivische Verfüzung des hinter seinem Kopfe liegenden hölz. Dagegen spricht die Lage der Hölzer dicht vor dem Hebelarm, bei denen jedoch auch Drehung und seitliches Herausgleiten angenommen werden kann. (Unten links das Schaduf)

(aus: Neuburger, S. 214)

sche Pyramiden) herangezogen. Die Technik des Wasserbaus (einschließlich des Schadufs) unter den Produktionsverhältnissen der "orientalischen Despotie" verhalf also den Massen allenfalls zu fremdbestimmten Zwangsarbeit, half ihnen -im Sinne von Humanisierung der Arbeit also nicht(2).

## 2. Historische Technikbetrachtung als Bestandteil eines integrierten Ansatzes

Die in historischen Bildquellen gezeigten einfachen und zusammengesetzten Maschinen werden sich bei ihrer ganzheitlichen Funktionsanalyse und im entdeckenden Nachbau als Modell meist als überraschend geeignet für die Erleichterung von Arbeiten erweisen. Erst eine Hinzuziehung der jeweiligen gesellschaftlichen Umstände, in denen die Maschinen verwendet wurden, ermöglicht Fragen nach den Interessenten an der durch Maschineneinsatz effektivierten Arbeit, nach der Verwendung des erzielten höheren Arbeitsertrages, nach dem Verbleib der durch Maschinen von dieser Arbeit freigesetzten Menschen usw.

Die Frage: "Wem hilft Technik?" zielt damit auf die Überwindung einer isolierten Betrachtung der unmittelbaren Funktion von Maschinen im Arbeitsprozeß, die sich häufig als durchaus funktionale und sinnvolle Erleichterung im Arbeitsprozeß zeigen, und soll bei Schülern zur Einsicht führen, daß technische Entwicklungen interessengeleitet konzipiert und eingesetzt werden.

## 3. Methodische Überlegungen

Führt man Overheadprojektionen historischer Bildquellen einfacher und zusammengesetzter Maschinen vor, so zeigt sich erfahrungsgemäß, daß Schüler spontan Erklärungsversuche anstellen (vgl. auch Fina, Lanz, Delle). Die Erklärungsversuche beziehen sich zum einen auf den Sinn und Zweck der Arbeit, die mit der Maschine ausgeführt wird, auf die Epoche, der sie (vermutlich) entstammt, und die Rolle und Funktion der im Bild dargestellten Personen, sowie auf die technische Funktionsweise der dargestellten Maschine.

Wenn die Schüler im freien Unterrichtsgespräch ihre ersten Erklärungen gegeben haben, sollte der Lehrer ihnen Gelegenheit geben, ihre Vermutungen durch Nachbauen des gezeigten Maschine zu überprüfen. Hierübersollten Materialien der Experimentier-Sammlung wie Stative, feste und lose Rollen, Kraftmesser und Gewichte usw. bereitgestellt werden, wie auch Pappen, Scheren, Klebstoff, Sperrholz, Sägen, Hämmer, Nägel usw. Aufwendige zusammengesetzte Maschinen lassen sich mit "Fischer-Technik" nachbauen.

---

(2) Solche prägnanten Quellen-Beispiele zum Aspekt "Wem hilft Technik?" lassen sich allerdings nicht immer finden.

Bei mit Wind- und Wasserkraft betriebenen Maschinen können Funktionsmodelle im naturwissenschaftlichen Arbeitsraum u.U. mit Gebläse bzw. mit einem Wasserstrahl über dem Abfluß angetrieben werden.

Dem Nachbau der Maschinen können verschiedene Messungen mit Kraftmessern und Gewichten folgen, die am Funktionsmodell experimentellen Aufschluß über die Kraftumwandlung geben.

Nachdem die technische Funktionsweise geklärt ist, können die Schüler in gezielten Gesprächen, durch Textarbeit, durch Hinzuziehung weiterer Bildquellen oder durch ein Simulationsspiel und seine Ergebnisse zur kritischen Beschäftigung mit dem sozialen Umfeld, in dem die Maschinen stehen, angeregt werden.

Die Arbeitsbögen im Materialteil und die Unterrichtsbeispiele sollen hierfür eine Anregung sein.

## II. TECHNIK- UND SOZIALGESCHICHTE EINFACHER UND ZUSAMMENGESETZTER MASCHINEN

1. Aspekte der Technikentwicklung als Teil der Entwicklung der Produktivkräfte im Altertum, im Mittelalter und zu Beginn der Neuzeit

Der Begriff Produktivkräfte einer Gesellschaft umfaßt die im Arbeitsprozeß unmittelbar und mittelbar tätigen Menschen mit ihrem Wissen, ihrer Einstellung und Disziplin, ihre Produktionsmittel (das ist die eigentliche Technik im engeren Sinne), ihre Leitung und Organisation, die zur Produktion notwendige Infrastruktur und das gesellschaftliche Wissen bzw. die Wissenschaft. Die Entwicklung der Produktivkräfte wird beeinflußt von bestimmten geografischen Voraussetzungen (Bodenschätze, Klima usw.) sowie von den Produktionsverhältnissen (vgl. z.B. G. Klaus, M. Buhr (Hrsg), S. 879 f). Die Technik oder die Maschinen sind also nur ein Teil der Produktivkräfte, auch wenn sie oft fälschlich als hauptsächliche Produktivkraft verstanden werden.

Während die Produktivkräfte auf das "Verhältnis der Menschen zu den Gegenständen und Kräften der Natur" zielen (vgl. Klaus, Buhr (Hrsg), *ibid*), bezeichnen die Produktionsverhältnisse die Beziehungen der Menschen in der Gesellschaft, d.h. vor allem die Herrschafts- und Eigentumsverhältnisse. Die Produktionsverhältnisse zielen damit auf den Bereich der Verfügung der gesellschaftlichen Produktivkräfte bzw. auf die Verteilung der gesellschaftlich erarbeiteten Produktion.

### 1.1. "Orientalische Despotie"

Wittfogel analysierte das Zustandekommen der Gesellschaftsform der orientalischen Despotie und führt ihre Entstehung auf die Schwierigkeiten der Bewässerungswirtschaft in den großen Stromkulturen zurück:

"Große Wassermengen können nur durch massenhaften Einsatz von Arbeitskräften manipuliert und im Zaume gehalten werden. Dies

bedingt die Koordinierung, Disziplinierung und Führung der beteiligten Personen. Wenn daher eine Anzahl Bauern trockene Ebenen landwirtschaftlich nutzbar machen wollen, dann sind sie gezwungen, organisatorische Methoden anzuwenden, die unter den Bedingungen einer vorindustriellen Technologie allein wirksam sind: Sie müssen mit vielen anderen zusammenarbeiten und sich einer führenden Autorität unterwerfen" (Wittfogel, S. 42 f).

Ähnliches stellt Mumford für die Entstehung der zentralen Macht in den Stromoasen heraus:

"Die Probleme der Flußregulierung und der Behebung von Flutschäden, der Verteilung von Wasser für Bewässerungszwecke, der jährlichen Speicherung von Nahrungsmitteln in ausreichender Menge, um einen Hungertod zu vermeiden, ehe die neue Ernte eingebracht ist - all das ging über die Kräfte lokaler Gemeinschaften. Es gab ein echtes Bedürfnis nach zentralisierter Autorität in diesen großen Flußtälern; und mangels einer rationaleren Autorität entsprach das Königtum diesem Bedürfnis" (Mumford, S. 208).

Die zentrale Macht "erfand" dann, wie im folgenden Abschnitt gezeigt wird, die "Megamaschine":

"Die einzigartige Leistung des Königtums bestand darin, das Menschenpotential zu konzentrieren und die Organisation zu disziplinieren, was die Ausführung von Arbeiten in nie zuvor dagewesenem Ausmaß ermöglichte" (Mumford, S. 219).

"Der König allein besaß die gottähnliche Macht, Menschen in mechanische Objekte zu verwandeln und diese Objekte zu einer Maschine zu vereinigen" (Mumford, S. 230).

In den orientalischen Despotien war die unbeschränkte Gewalt der Despoten über die Arbeitskraft ihrer Untertanen Voraussetzung sowohl für den Bau der gewaltigen Bewässerungssysteme, die für die materielle Reproduktion der Gesellschaft angesichts verheerender Überschwemmungen oder Trockenheiten notwendig waren, als auch für die nur als Symbol der Macht der Gottkönige verständlichen Paläste und Pyramiden (Wittfogel, S. 67). Die eigentliche Produktivkraft dieser Gesellschaften waren die organisierten Massen (Jonas u.a., S. 86), die "Megamaschine" Mumfords.

Die neue zentrale Macht schuf also nicht nur die notwendigen hydraulischen Systeme, sondern nutzte die dadurch bewirkte agrarische Produktivität und die Möglichkeit, Nahrungsmittel für die großen Massen von zeitweilig nicht in der landwirtschaftlichen Produktion beschäftigten Menschen speichern zu können, für die Erstellung gewaltiger Paläste und Pyramiden, die keinem anderen Zweck dienten, als alle verfügbaren Kräfte der Gesellschaft zur Bestätigung der Zentralgewalt der Gottkönige einzusetzen.

Die Produktivkraft des organisierten Masseneinsatzes von Fronarbeitern wurde bedingt von den Produktionsverhältnissen, die sich als "unbeschränkte Gewalt" des Despoten über die Arbeitskraft ihrer Untertanen bezeichnen läßt (Wittfogel, S. 67) und er-

hielt ihre Zwecksetzung in der symbolischen Verkörperung der Macht in nutzlosen Bauten.

Die durch die Produktivkräfte im Bereiche der Bewässerungstechnologie bewirkte sicherere und höhere Produktion von Lebensmitteln führte also in diesen alten orientalischen Despotien zu keiner Verbesserung der Lebensqualität der arbeitenden Massen, weil die Produktionsverhältnisse bewirkten, daß das gesamte erarbeitete Mehrprodukt für unproduktiv-symbolische Zwecke verwendet wurde.

## 1.2. Die "Megamaschine" Mumfords als Beispiel für eine nicht produktivkraftorientierte Theorie der Technik

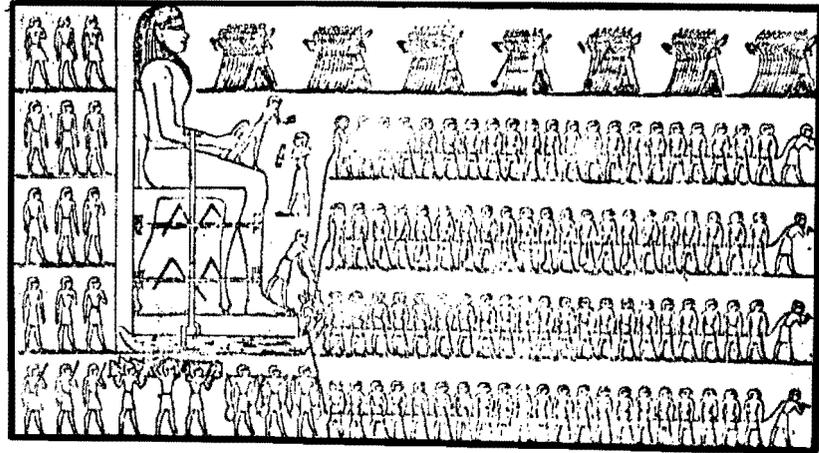
Zur Einschätzung der spezifischen Bedeutung der Technik in der orientalischen Despotie ist es wichtig, sich klar zu machen, daß das wesentliche Moment darin besteht, daß die Menschen in einer straffen autoritären Hierarchie so eingesetzt und funktionalisiert werden können, damit sie wie Teile einer großen Maschine funktionieren. Zu recht verweist Mumford in seiner Technikgeschichte (vgl. bes. Mumford, S. 299 ff) darauf, daß diese erste historische Organisation aller Menschen unter einem Befehl (dem des Gottkönigs) als "Megamaschine" die eigentliche gesellschaftliche Leistung darstellt. Dieser Mensch-Megamaschine gegenüber spielen die verwendeten "einfachen Maschinen" eine geringere Rolle. Nach Mumford stellt die weitere Technikentwicklung bis in die Jetztzeit hinein vor allem eine Ersetzung der Menschen in dieser Megamaschine durch Maschinen dar. Einen ersten Hinweis darauf, daß Mumfords Techniktheorie keine abstruse Spekulation ist, zeigt der Vergleich der folgenden Bildquellen (S. 8):

In den beiden Darstellungen wird ein annähernd gleichgroßes Monument transportiert. In der ägyptischen Darstellung (2000 v.u.Z.) werden keine einfachen Maschinen (Zugseile einmal ausgenommen) angewendet, sondern es wird lediglich Wasser zur Minderung der Reibung bzw. Reibungshitze vor die Kufen gegossen.

In der assyrischen Darstellung (ca. 700 v.u.Z.) wird der zweiarmige Hebel verwendet, und durch unter die Kufen gelegte Rundhölzer die Reibung vermindert. Es ist unwichtig, ob die Ägypter zur Zeit des dargestellten Transports diese einfachen Maschinen gekannt haben oder nicht. Für meinen Versuch zur Illustration der Relevanz der Mumfordschen Techniktheorie ist es wichtig aufzuzeigen, daß auch ohne technische Hilfsmittel die ägyptische Megamaschine das gleiche leistet, wie die assyrische mit technischen Hilfsmitteln. In den beiden Fällen sind es "Megamaschinen", d.h. die im völligen Gleichtakt -wie mechanische Maschinenteile- zentral gesteuerten und angeleitet arbeitenden Menschen, die die Aufgabe bewältigen. Technische Hilfsmittel können in dieser Megamaschine nur die für die Bewältigung der Aufgabe benötigten Menschen ersetzen. Vermutlich sind auch bei assyrischen Transport weniger Menschen nötig. Die Gleichschaltung der Menschen unter einen Befehl bleibt jedoch auch beim Einsatz einfacher Maschinen als Hilfsmittel gleich. In der Anordnung die-

ser beiden Megamaschinen läßt sich zeigen, daß die Megamaschine selbst, d.h. auch ohne einfache Maschinen, die Aufgabe erfüllt. Die Technik befähigt in diesem Beispiel also zu keiner Aufgabenbewältigung, zu der die Megamaschine nicht auch ohne technische Hilfsmittel imstande wäre. Somit spricht dies Beispiel für Mumfords Theorie, daß die eigentliche Erfindung der Technik die der Megamaschine gewesen ist.

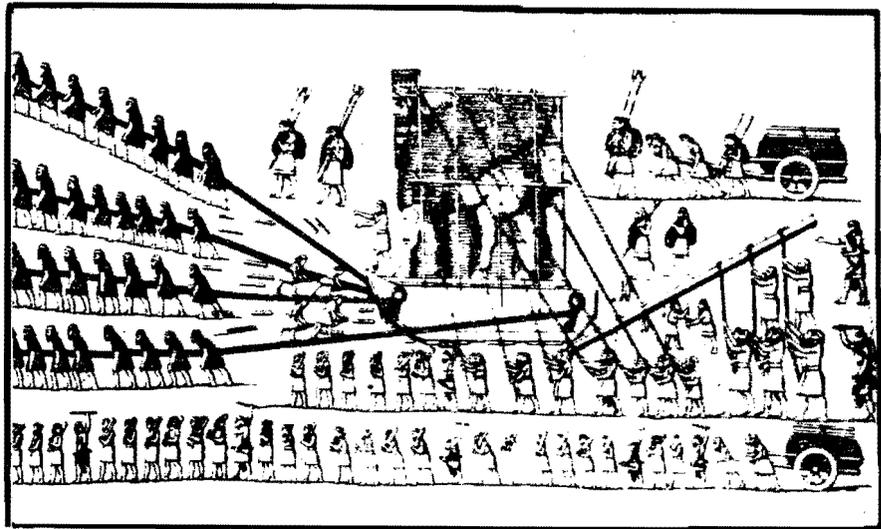
aus Klemm 54, S. 16.



*Sklavenarbeit in der Antike.*

Transport eines auf Kufen gestellten, 7 m hohen Alabasterkolosses durch 172 Sklaven. Relief aus El Berscheh (Agypten). Mittleres Reich, 11./12. Dynastie, um 2000 v. Chr.

aus Neuburger, S. 214



Transport eines auf Kufen geteilten Reien-Bildwerkes bei den Assyrern. Basrelief zu Kurumösch.

Hinten Hebebaum, vor, hinter und unter den Kufen Hölzer (Rundhölzer), teils in Längs, teils in Quertellung.

### 1.3. Klassisches Altertum

Im Gegensatz zum Masseneinsatz organisierter Fronarbeiter in den orientalischen Despotien verwendete das klassische Altertum in Griechenland und im Römischen Reich für fast alle Bereiche, in denen viele Menschen für Arbeitszwecke eingesetzt werden mußten (z.B. Bergbau, Bauten usw.), Kriegsgefangene als Sklaven. Da Sklaven in meist genügendem Maße zur Verfügung standen (wenn das einmal nicht so war, wurde ein Eroberungskrieg begonnen, der neue Sklaven einbrachte), fanden im Bereich der nichtkriegerischen, grundsätzlichen gesellschaftsnotwendigen Aufgaben technische Neuerungen kaum Eingang, obwohl das klassische Altertum wesentlich Beiträge zur Entwicklung der Wissenschaften und auch geniale

Techniker, wie z.B. die alexandrischen Mechaniker, hervorbrachte (vgl. Klemm 1954, Bernal Band 1, Neuburger). Wenn die technischen Ideen des Altertums kein Bestandteil der Produktivkräfte wurden, sondern allenfalls als Militärtechnik destruktiv verwendet wurden, so lag das in dem Produktionsverhältnis der Sklavenhaltergesellschaft begründet:

"Der Vornehme in Griechenland, der reiche Bürger machte sich nicht die Hände schmutzig, er beschäftigte sich nicht mit handwerklicher Arbeit. Für ihn bestand weder wirtschaftlich noch gesellschaftlich der Zwang, die Arbeit durch technische Hilfsmittel zu erleichtern. Der Sklavenmarkt bot für ihn die Lösung all seiner technischen Probleme und Ansprüche.

Die Technik diente daher nicht -wie dies auch in späteren Zeiten an den Fürstenhöfen zu sehen ist- der Erleichterung und Durchführung der Arbeit, sondern in erster Linie dem Amusement, der Unterhaltung; sie zielte auf den überraschenden Effekt, sie hatte etwas von Zauberei an sich, vom Überlisten natürlicher Vorgänge (daher stammt auch das griechische Wort Mechanik = List"), (Varchmin, 1978, S. 6).

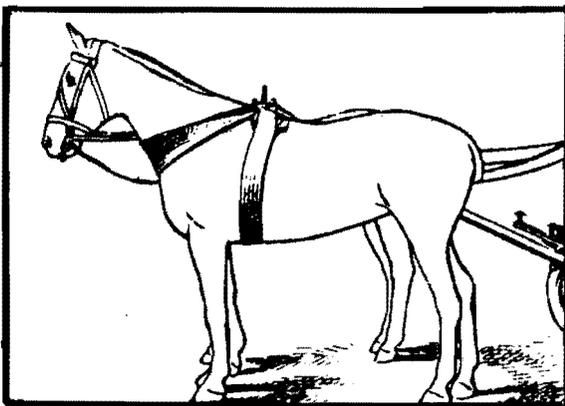
So wurde z.B. in der Antike das Wasserrad -obwohl bereits bekannt als technische Antriebsmaschine- nur vereinzelt benutzt (vgl. Varchmin, ibid).

Einfache Maschinen als technische Erfindungen der Antike (z.B. archimedische Schraube, Flaschenzug, Rollengetriebe; vgl. Neuburger, S. 210 ff), die im breiteren Maßstab genutzt wurden, stehen dann auch nicht als "Arbeitserleichterung" dar, sondern als meist von Sklaven mühsam angetriebene Maschinen, die nur dazu dienen, daß Sklaven ihre Aufgaben besser erfüllen (z.B. als Tretrad mit Schöpfkette, die archimedische Schrauben zur Entwässerung von Bergwerken (siehe dazu den Quellenteil)).

#### 1.4. Das Mittelalter

Das Mittelalter wurde lange Zeit als eine "finstere Epoche" ohne wesentliche technische Entwicklungen angesehen. Neuere Forschungen zeigen jedoch, daß im Mittelalter wesentliche technische Entwicklungen stattfanden (vgl. Klemm 1979, S. 67 ff).

*Antikes Jochgeschirr mit Hals- und Unterbrust-Gurt. Nach: Lefebvre des Noëttes, L'attelage et le cheval de selle à travers les âges. Paris 1931, S. 163.*

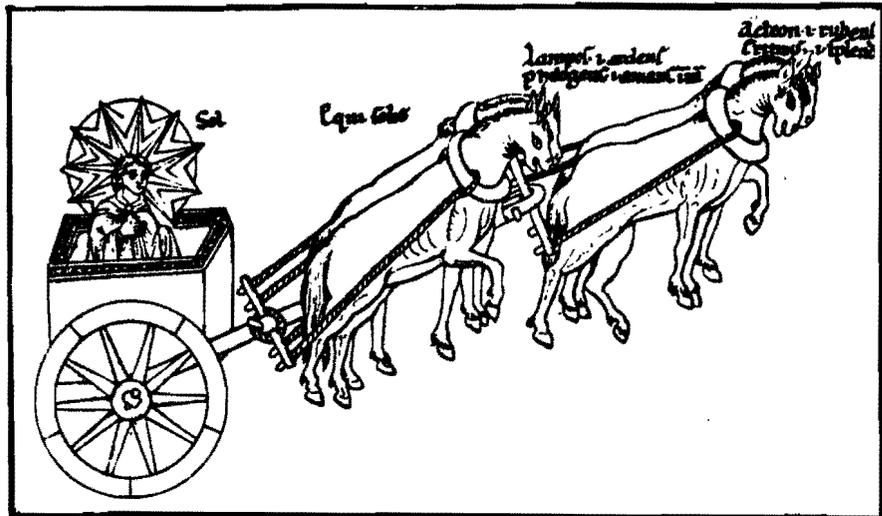


(aus Klemm 1979, S. 70)

Eine wesentliche -lange unterschätzte- Neuerung des 9. Jahrhunderts war die Einführung des Kummetsgeschirrs (vermutlich aus China stammend), mit dem die Zugkraft der Pferde vervierfacht werden konnte.

Beim antiken Pferdegeschirr drückte der Halsgurt beim Ziehen direkt auf die Luftrohre.

Beim Kummetsgeschirr dagegen waren die Zugseile an der gepolsterten Seite des Kummets angebracht "so, daß beim Ziehen die Brust und die Schulter des Pferdes, nicht aber sein Hals belastet wurde" (Varchmin, S. 16).



Das Kummet. (Herrard von Landsperg, Anfang 13. Jh.)

(aus Varchmin: S. 19)

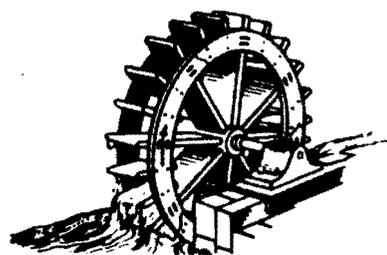
Zwar hat diese Erfindung scheinbar mit der Entwicklung von historischen Maschinen im engeren Sinne wenig zu tun. Aber erst dieses Geschirr ermöglichte den Einsatz von Pferden beim Pflügen, in der Landwirtschaft, beim Transport von schweren Lasten und Massengütern, und schließlich beim Einsatz von pferdegetriebenen Göpeln (vgl. Bergbaufördermaschinen, M. 19, S. 60). Zurecht weist Klemm darauf hin, daß die Zentralisierung, die die intensive Nutzung der Wasserkraft mit sich brachte, ohne das neue Pferdegeschirr kaum möglich gewesen wäre (Klemm 1979, S. 74).

Das Christentum führte zu einer neuen Bewertung der Arbeit. Sie war nun nicht mehr gering geschätzte Sache von Sklaven, sondern sie erhielt eine religiöse Sinnggebung (Klemm ibid). Unter dem Einfluß der Kirche kam es immer mehr zu Freilassung von Sklaven und Unfreien. Besonders in den Klöstern wirkte sich die neue Bewertung der Arbeit direkt im handwerklichen und technischen Schaffen aus. Dabei war die Arbeit nicht Selbstzweck, sondern diente im Kloster der Ausrichtung des Lebens auf einen höheren Zweck (vgl. Mumford, S. 305). Die Mönche versuchten durch Kooperation und rationelle Anwendungen von arbeitssparenden Maschinen "unnötige Arbeit zu vermeiden, um mehr Zeit und Kraft für Meditation und Gebete zu haben" (Mumford, S. 307).

Die starke Nutzung der Wasserkraft mit dem seit der Antike bekannten unterschlächtigen Wasserrad wirkte sich bis in die Planung von Klosteranlagen hinein aus, die vor allem bei den Zisterziensern nur in Flußtäälern angelegt wurden, um die Wasserkraft möglichst umfassend auszunutzen.

(aus Jonas u.a., S. 204)

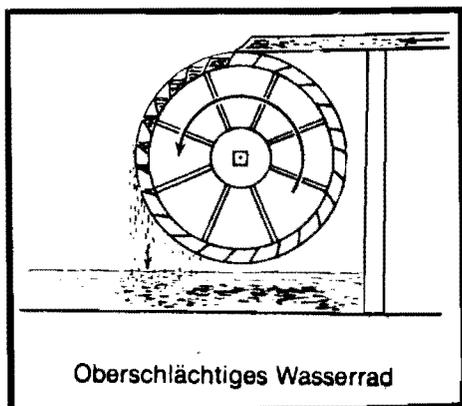
unterschlächtiges Wasserrad



"Die Klöster spielten bei der Ausbreitung der Technik im Mittelalter eine bedeutende Rolle. Ein anschauliches Zeugnis dafür bietet die Beschreibung der Abtei Clairvaux (gegr. 1115 von Bernhard): Der Fluß tritt in die Abtei insoweit ein, als die Dauer, die als Hindernis entgegensteht, dies zuläßt. Er stürzt sich zunächst in die Getreidemühle, wo er gehörig eingespannt wird, das Korn unter dem Druck der Mühlsteine zu mahlen und das feine Sieb zu schütteln, welches das Mehl von der Kleie trennt. Dann fließt er in das nächste Gebäude und füllt die Siedepfanne, in der erhitzt wird, um ihn zur Herstellung von Bier als Getränk für die Mönche zu benutzen, wenn der Ertrag des Weinstocks des Winzers Mühe nicht lohnt. Aber der Fluß hat seine Arbeit noch nicht getan. Er wird nun in die Tuchwalke geleitet, die sich an die Getreidemühle anschließt. In der Mühle hat er Nahrung für die Brüder bereitet, jetzt ist es seine Pflicht, ihnen zu helfen, ihre Kleidung herzustellen. Der Fluß versagt dies nicht, wie er überhaupt keine Aufgabe zurückweist, die man ihm stellt. So läßt er die schweren Hämmer und die Schlägel oder genauer gesagt, die hölzernen Füße der Tuchwalke, sich abwechselnd heben und senken. Wenn er nun, eiligst herumwirbelnd, alle diese Räder in schnelle Umdrehung versetzt hat, strömt er schäumend heraus und macht den Eindruck, als habe er sich selbst zermahlen lassen. Nun tritt er in die Lohgerberei ein, wo er alle Sorgfalt und Arbeit aufwendet, die für die Fußbekleidung der Mönche notwendigen Stoffe zu bereiten. Er teilt sich dann in viele kleine Zweige und durchzieht in seinem geschäftigen Lauf die verschiedenen Bezirke. Dazu sucht er überall nach jenen, die seine Dienste zu irgendwelchen Zwecken benötigen; es sei das zum Kochen, zur Drehbewegung, zum Pressen, zur Bewässerung, zum Waschen oder zum Schleifen. Immer bietet er seine Hilfe an und niemals weigert er sich. Um vollkommenen Dank zu erwerben und um nichts ungetan zu lassen, trägt er schließlich noch die Abfälle fort und hinterläßt alles in Sauberkeit. (Quelle: Vita des Bernhard von Clairvaux, geschrieben von einem Zeitgenossen um 1140; Bernhard Vita II, cap. 5, Nr. 31 in: Migne, Patrologia lat. Vol. 185, Sp. 570-572)" (Nach Varchmin, S. 69).

Die Anwendung des Wasserrades fand durch die Klöster rasche Verbreitung. Die Ausnutzung der Wasserkraft für neue vielfältige Arbeitszwecke wurde durch die Einführung der "Daumen-" oder Nockenwelle seit Mitte des 11. Jahrhunderts verbreitet.

"Jetzt konnte die drehende Bewegung des Mühlrades auch da genutzt werden, wo hin- und hergehende Bewegung benötigt wurde. Es traten neben die Getreide-, Öl-, Waid-, Schleifmühlen und die Mühlen zum Wasserheben auch Walk-, Hammer-, Säge-, Zwirn-, Loh- und Papiermühlen. Auch Blasebälge für Schmiedefeuer und für die Erzverhüttung wurden jetzt durch Wasserkraft betätigt" (Klemm 1979, S. 73).

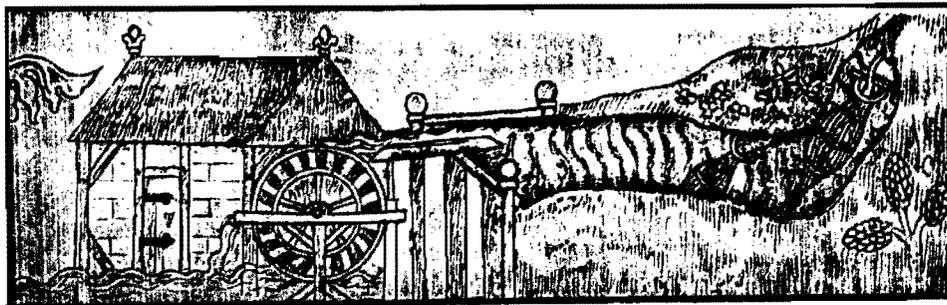


Oberschlächtiges Wasserrad

(aus: Landels, S. 23)

Mit der Einführung des  
oberschlächtigen Wasser-  
rades im 14. Jahrhundert  
stand nun eine Arbeitsma-  
schine zur Verfügung, die  
gegenüber einem gleichgro-  
ßen unterschlächtigem Was-  
serrad bei gleicher Was-  
sermenge eine ca. doppelt  
so große Leistung ent-  
wickelte (Varchmin, S. 25).

"Sein Einsatz bedeutete jedoch einen tiefen Eingriff in die Wasserführung. Es mußten Wehre und Mühlengräben gebaut, Dämme errichtet, Stauweiher angelegt und Gerinne konstruiert werden (s. Abb.). Dazu mußten zum einen die Wasserrechte geklärt sein und zum anderen genügend finanzielle Mittel zum Ausbau des Wasserlaufes zur Verfügung stehen. Diese Anlagen konnten sich daher nur die reichen weltlichen und geistlichen Grundherren leisten. Sie teilten Bezirke ein, in denen keine weiteren Mühlen errichtet werden durften. Denn durch den Ausbau der Wasserläufe nahm die Mühle der nächsten das Gefälle, sie konnten ihr buchstäblich das Wasser abgraben. Unterschlächtige Wasserräder können dagegen einfach in den Wasserlauf gehängt werden, ohne sich gegenseitig zu behindern" (Varchmin, S. 26).



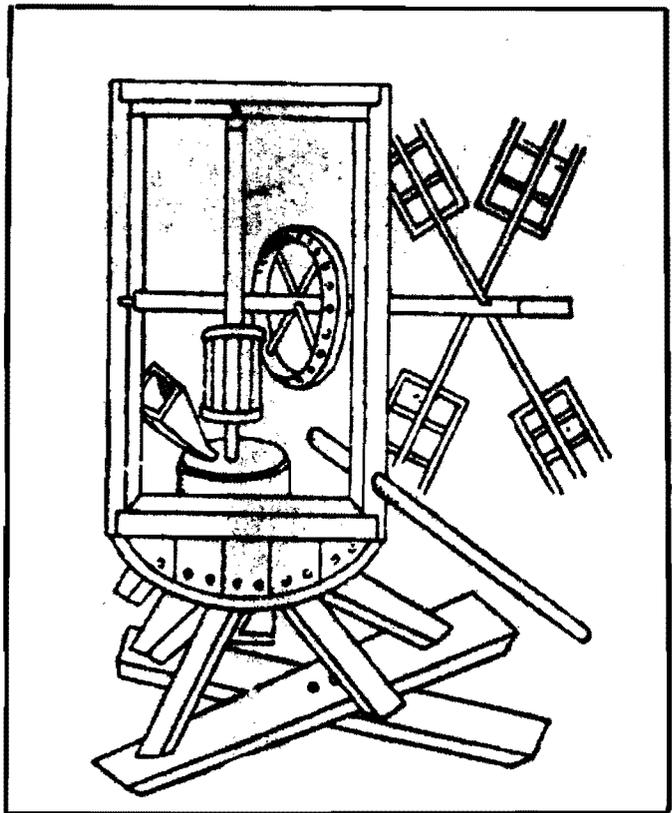
Oberschlächtiges Wasserrad um 1340. Der Wasserzuluß ist als Kanal ausgebaut. Über ein Gerinne wird das Wasser auf das Rad gelenkt. Im oberen Teil sind Reusen für den Fischfang zu sehen.  
Miniatur aus dem Luttrell-PSalter.

(aus: Varchmin, S. 26)

Die Wasserkraft erhielt im Mittelalter eine dominierende Stellung als Kraftquelle. Die Nutzung der Wasserkraft war jedoch mit erheblichen Finanzmitteln zum Ausbau der Wasserführung zum einen und mit dem Besitz der Wasserrechte zum anderen verbunden. Die Wasserkraft -und mit ihr verbunden die technischen Entwicklungen zu ihrer Umformung in geeignete Kräfte für den Betrieb verschiedenartiger Arbeitsmaschinen- hat zwar, wo sie genutzt werden konnte, dazu geführt, daß Menschen und Tiere nicht in Tretmühlen und Göpeln als Antriebskräfte arbeiten mußten, die Verfügung über diese neue Technik blieb jedoch meist feudalen Grundherren vorbehalten. Vielerorts gebrauchten die Grundherren den Mahlzwang -wobei der Betrieb kleinerer handbetriebener Mühlen verboten war und die Bauern gezwungen waren, ihr Getreide in der Mühle des Grundherrn gegen Überlassung eines Teils des Mehls mahlen zu lassen -als zusätzliche Besteuerung der Bauern (vgl. Varchmin, S. 27).

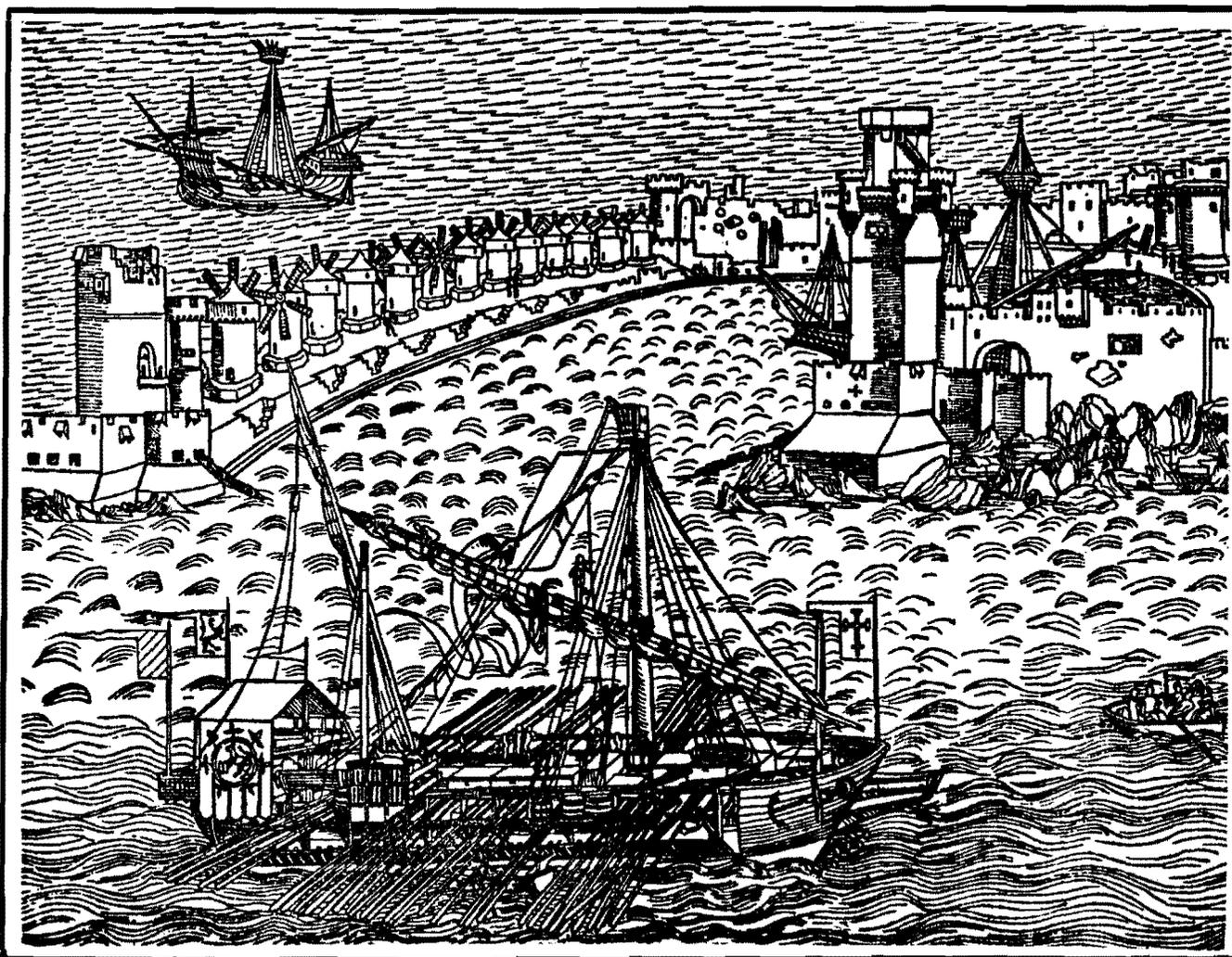
Neben der Nutzung der Wasserkraft wurde seit dem 12. Jahrhundert auch die viel schwierigere Nutzung der Windkraft mit Windrädern durch Klöster verbreitet. Bei der Bockwindmühle war das ganze Mühlenhaus auf einem Untergestell drehbar. "Die Mühle konnte nicht sehr groß und stabil gebaut werden, da die Verbindung zwischen Bock und Mühlenhaus bei größerer Windstärke technische Schwierigkeiten bot: Bock und Mühlenhaus konnten dann nur schwer gegeneinander bewegt werden" (Varchmin, S. 46).

Erst zu Beginn der Neuzeit erschien der Windmühlentyp, bei dem nur die Mühlendachkappe auf einem festen Gehäuse in Windrichtung gedreht werden konnte. Erst damit waren leistungsfähigere Windmühlen möglich. (Typ der "Holländischen Windmühle").



Deutsche Bockwindmühle. Zeichnung aus der Handschrift Cod. lat. monac. 197, 1, fol. 19r, um 1480.

(aus Klemm, S. 92)

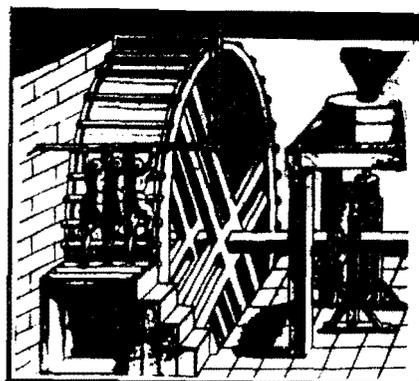


Windmühlenbatterie auf der Mole einer Hafenstadt im  
15. Jahrhundert (Breydenbach, 1486) (aus: Varchmin, S. 7)

Die Nutzung von Wind- und Wasserkraft für Antriebsmaschinen im Mittelalter brachte keine grundsätzliche, ethisch oder moralisch motivierte Befreiung der Arbeiter von kräftezehrenden Antriebsarbeiten in Lauf- rädern oder Göpeln mit sich. Über- all, wo billige Arbeitskräfte oder Gefangene o.ä. zur Verfügung stan- den, wo Wind- oder Wasserkraft nicht zum Antrieb von Maschinen verfügbar war und der Einsatz von Tieren im Vergleich zu dem von Menschen zu teu- er war, wurden Menschen weiter in die Tretmühlen geschickt (vgl. Varchmin, S. 20).

In der militärischen Seefahrt wurde die mit Rudersklaven angetriebene Galeere bis weit in die Neuzeit hin- ein im Mittelmeer verwendet, wo man glaubte, sich nicht völlig auf die Kraft des Windes verlassen zu können (s. Bild ob., Vgl. Varchmin, S. 7ff).

(aus *Geschichte der Technik*, Sonnemann, S. 184)



212. Trettrad zum Antrieb eines Mahl- werks. - Dieser neuen Radtrübs Erfindung mögen wir uns billich beruhmen ... In anderen (Urtträdern) gehen die Männer im innern und understen Theil des Rads, in unserm Rad aber stehn sie außerhalb inmitten des Rads. - Kupferstich aus: Veranzios *Machinae novae*, Venedig 1616, Taf. 23

Betrachtet man die Produktivkraftentwicklung des Mittelalters nur unter dem engen Winkel der verwendeten Kraftmaschinen und der daran angeschlossenen Arbeitsmaschinen, ihrer Funktionen und Leistungen, so treten folgende Grundelemente und Entwicklungen hervor:

Die Ausnutzung von drei verschiedenen Arten mechanischer Energie in Kraftmaschinen ist für das System der Produktivkräfte der feudalen Gesellschaftsordnung kennzeichnend: 1. die lebendige Kraft (menschliche und tierische) im Tretrad und Göpel, 2. die Windkraft in der Windmühle und 3. die Wasserkraft in der Wassermühle.

Die Spezialisierung und Entwicklung der Arbeitsteilung in der gesellschaftlichen Produktion, die dadurch bedingte Herausbildung von speziellen Werkzeugen und Geräten für die Produktion, die durch das Größerwerden der Werkstätten und die Ausdehnung der Zirkulationssphäre notwendige Lösung des massenweisen Hebens von Lasten und ihres Transports – alle diese Faktoren drängten zu einer immer stärkeren Anwendung von Kraftmaschinen. Bei allen diesen Kraftmaschinen, so vielseitig ihre Formen auch sein mögen, handelte es sich um die Umwandlung natürlich vorkommender geradliniger Bewegung in eine Drehbewegung und teilweise wieder um eine Rückwandlung der Drehbewegung in eine den speziellen Anforderungen gerecht werdende geradlinige Bewegung. Mit dem Göpel oder der Tretscheibe wird die waagrecht wirkende Kraft des ziehenden oder schiebenden Tieres oder Menschen, mit dem Tretrad die senkrecht wirkende Schwerkraft, mit der Windmühle die waagrecht wirkende Kraft des Windes und mit dem Wasserrad die waagrecht wirkende Strömungskraft oder senkrecht wirkende Schwerkraft des Wassers ausgenutzt. Dieses Grundprinzip der Wirkungsweise der Kraftmaschinen blieb in der Zeit vom 11. bis zum 17. Jahrhundert im wesentlichen unverändert. Der Fortschritt auf diesem Gebiet zeigte sich in dieser Zeit in erster Linie in folgenden Entwicklungen: 1. Die Maschinen wurden größer und erlaubten daher ein Mehrfaches der primär wirkenden Kraft auszunutzen, zum Beispiel entstanden Treträder, in denen eine große Anzahl von Männern laufen konnte, es kam zur Vergrößerung und Verbesserung der Windflügel und der Wasserräder. 2. Die Konstruktionen wurden leichter und stabiler. 3. Durch neue Konstruktionselemente und verbesserte Herstellungsverfahren wurde der Wirkungsgrad der Maschinen erhöht. 4. Spezialkonstruktionen (Kranschiffe und ähnliches) wurden entwickelt. 5. Es entstanden besondere Kombinationen zwischen Kraftmaschinen und speziellen Bearbeitungsmaschinen und Geräten (Walkmühlen, Blasebälge, Bohrwerke). 6. Für die Einschätzung der gesellschaftlichen Produktivkräfte darf die quantitative Seite nicht vergessen werden, die eine zunehmende Anwendung derartiger Kraftmaschinen in den verschiedenen Produktionsbereichen beinhaltet.

(aus Jonas u.a., S. 188)

Daß eine solche Betrachtung eines technischen Teilbereichs natürlich nichts über die gesamte Entwicklung der Produktivkräfte und des gesellschaftlichen Fortschritts aussagt (auch Jonas u.a. stelle natürlich die Geschichte der Produktivkräfte vielfältig und differenziert vor, der Ausschnitt bezieht sich auch nur auf die Anwendung der Muskel-, Wind- und Wasserkraft (k.H.)), wird deutlich, wenn man sich andere Entwicklungen und Erfindungen des Mittelalters vor Augen hält, die sicher von entscheidenderer Bedeutung für den gesellschaftlichen Fortschritt gewesen sind als die bloße Maschinerie.

Das neue Pferdegeschirr, die damit einhergehende Intensivierung der Landwirtschaft, die Entwicklung eiserner Radpflüge und der Sense, die Dreifelderwirtschaft, und die Verbesserung der Transportwege und der Schifffahrt (Klemm 1979, S. 77 ff, Jonas u.a., S. 150 ff) begünstigte die Entstehung von Städten, die mit zunehmender Arbeitsteilung und Zuwanderung von dörflichen Handwerkskern ("Stadtluft macht frei") zu größeren Handwerks- und Handelszentren wurden:

"Im 11. und ganz besonders im 12. und 13. Jahrhundert setzte eine stürmische Entwicklung der Städte ein. Massenhaft entstanden neue Städte. Sie begannen sich aus der unmittelbaren feudalen Abhängigkeit und Unterordnung herauszulösen. Das Selbstbewußtsein der Städtebürger -Ackerbürger, Handwerker und Kaufleute- wuchs. Sie bildeten gemeinsam mit den Feudalherren, die ihren Sitz in der Stadt hatten, das Patriziat. Diese weitgehenden ökonomischen Veränderungen -die sich vor allem auf der Grundlage der Entfaltung der Produktivkräfte vollzogen (Arbeitsteilung: Landwirtschaft und Handwerk)- führten zu wesentlichen sozialen Veränderungen (aufstrebendes Bürgertum in den Städten). Diese aufkommenden neuen sozialen Gruppen waren auch die Träger neuer Interessen und seiner Ideologie, die aus der Enge und Begrenztheit feudalen Denkens herausdrängte. In der Architektur fand diese Entwicklung in der kraftvoll, triumphierend aufstrebenden Gotik ihren Ausdruck. (nach Jonas u.a., S. 160).

In diesen freien Städten vollzog sich bis in die Neuzeit hinein eine weit intensivere Entwicklung der Produktivkräfte, als das in feudalen-ländlichen Strukturen möglich gewesen war. Mumford hebt drei "radikale Erfindungen" hervor, die in grundlegender Weise "das Raumzeitgefüge der zivilisierten Welt" veränderten und die ich hier nur kurz erwähne, um die dem gegenüber geringere Rolle der mechanischen Maschinen für den gesellschaftlichen Fortschritt und die Entwicklung der Produktivkraft zu verdeutlichen (vgl. Mumford, S.323 ff), nämlich die Optik, die Druckerpresse und die Uhr.

Die Verbesserung der Glaserzeugung und die vermehrten Kenntnisse der Optik führten zur Brille und zur Entdeckung des "Makro"- und des "Mikrokosmos" (Mikroskop und Fernrohr). Die Brille bedeutete eine Verlängerung der Schaffensperiode der Menschen, die vorher im früheren Alter durch Kurzsichtigkeit behindert waren, der Buchdruck bedeutete eine ungeheuerere Verbreitung des gesellschaftlich akkumulierten Wissens, und die Uhr stelle schließlich das erste Funktionsmodell einer ganz mechanisch arbeitenden Maschine dar, das zum immer weiter präzisierten Vorbild aller automatischen Maschinen wurde und mit vorher nicht gekannter Genauigkeit den Tagesablauf bestimmte, wodurch schließlich die Bereiche gesellschaftlicher Produktion einer zunehmenden Zeit- bzw. Effektivitätskontrolle unterworfen werden konnten.

Zusammenfassend läßt sich von der Entwicklung im Mittelalter sagen, daß die neue Bewertung der Arbeit in den Klöstern und das allmähliche Verschwinden der Sklaverei zum starken Einsatz arbeitssparender Kraftmaschinen führte, und vielfältig Menschen vom Einsatz in Antriebsmaschinen freisetzte.

Der Einsatz von neuen Techniken brachte jedoch aufgrund der feudalen Produktionsverhältnisse neue Zwänge (z.B. Mahlzwang) mit sich. Die vielfältige Verwendung einfacher und zusammengesetzter Maschinen zur "Arbeitserleichterung" bei den immer wichtiger werdenden Aufgaben 'Heben und Transport von Lasten', also im Handel (Warenumsschlag, Kräne) und im Bauwesen (Aufzüge etc.), beruhte oft nach wie vor auf der Kraft der für ihren Antrieb eingesetzten Menschen (oder Tiere), ermöglichte es aber Handels- und Bauherrn, mit weniger Menschen schneller und effektiver die gewünschten Ergebnisse zu erreichen. Diejenigen Erfindungen, die vielen Menschen ihr Leben erleichterten bzw. bereicherten, lagen nicht auf dem Gebiet der Mechanik bzw. der Maschinerie.

#### 1.5. Produktivkraftentwicklung am Beispiel des Bergbaus zu Beginn der Neuzeit

Im folgenden werde ich nur den Bereich des sächsisch-böhmischen Bergbaus zu Zeiten Georg Agricolas herausheben, weil dieser, wie sich mit Mumford (S. 501 ff) und Ullrich (Ullrich 1979, S. 40 ff) zeigen läßt, wesentliche Elemente der späteren großen Industrie bereits im 16. Jahrhundert vorweggenommen hat, und weil hier vielfältige mechanische Maschinen zur Anwendung kommen, bei denen die Frage "Wem hilft Technik?" sich fast von selbst stellt. Zuerst stelle ich ausführlicher Mumford und darauf aufbauend Ullrichs Einschätzung der Bergbautechnik und ihrer ökologischen und sozialen Auswirkungen vor:

"Im 16. Jahrhundert waren Bergbau und Schmelzverfahren, wie Agricola anschaulich darstellt, fortgeschrittene Industrien geworden, in dem Sinne, daß viele Arbeitsgänge nun hochmechanisiert waren; einige von ihnen, wie die maschinelle Entwässerung von Bergwerken, wurden, wo Wasserkraft vorhanden war, völlig automatisiert. In den Bergwerken Sachsens verstand man es zu Agricolas Zeiten bereits, tiefe Schächte zu bohren und Wasserpumpen zur Abschöpfung des Grundwassers zu verwenden: über den unebenen Boden der Stollen wurden Schienen gelegt, auf denen das geförderte Erz sich leichter transportieren ließ. Künstliche Belüftung, wasserbetriebene Ventilatoren wurden verwendet, um schädliche Gase abzusaugen. Wasserkraft wurde auch zum Zerkleinern der Erzbrocken angewandt" (Mumford, S. 501).

"Neben den technischen Bausteinen für den Kapitalismus gab es im Bergbau auch "soziale", die Lohnarbeit anstelle von Sklavenarbeit, was Agricola ausdrücklich erwähnt, den Drei-Schichten-Betrieb rund um die Uhr, die Notwendigkeit zu einer Art Aktiengesellschaft, da die erforderlichen Geldmengen für die ganzen Apparaturen hoch waren, und eine Art bürokratisch abgetrennte Kopfarbeit in Form der "Bergbeamten". Darüber hinaus hatte der Bergbau ein wesentliches Motiv mit dem Kapitalismus gemeinsam: auf räuberische Art möglichst schnell einen hohen Gewinn zu erzielen ohne Rücksicht auf die dabei beteiligten Menschen und die Natur" (Ullrich 1979, S. 41).

"Die Zeitgenossen Agricolas sahen oder ahnten das Räuberische und Zerstörerische im Bergbau und in der "Geisteshaltung", die dahinter stand. So verwendet Agricola das ganze erste "Buch" seines Berichts nur zur Abwehr der damals wohl weitverbreiteten Angriffe und Vorbehalte gegen den Bergbau. Ein Einwand, mit dem Agricola sich auseinandersetzt, ist die Umweltzerstörung:

"Wälder und Haine wurden umgehauen; denn man bedarf zahlloser Hölzer für die Gebäude und das Gezeuge sowie, um die Erze zu schmelzen. Durch die Niederlagen der Wälder und Haine aber werden die Vögel und andere Tiere ausgerottet... Die Erze werden gewaschen; durch dieses Waschen aber werden, weil es die Bäche und Flüsse vergiftet, die Fische entweder aus ihnen vertrieben oder getötet. Da also die Einwohner der betreffenden Landschaften infolge der Verwüstung der Felder, Wälder, Haine und Flüsse in große Verlegenheit kommen, wie sie die Dinge, die sie zum Leben brauchen, sich verschaffen sollen, und da sie wegen des Mangels an Holz größere Kosten zum Bau ihrer Häuser aufwenden müssen, so ist es vor allen Augen klar, daß bei dem Schürfen mehr Schaden entsteht, als in den Erzen, die durch den Bergbau gewonnen werden. (Agricola: Vom Berg- und Hüttenwesen mit 273 Holzschnitten, zit. nach der Ausgabe München 1977, S. 6).

Diesem sehr "aktuellen" Argument von 1556 über die Bilanz der Gewinne und Verluste durch räuberische, gewalttätige Technologien setzt Agricola ebenso "aktuelle" Rechtfertigungen entgegen: Beim Verzicht auf diese Technologie müßten wir zurück auf die Bäume, ohne Bergbau wären nur "unzivilisierte Menschen" möglich, "wild und barbarisch". Außerdem führt er das schlagende Argument an: "Und für die Edelmetalle, die man aus dem Erz schmilzt, können anderswo zahlreiche Vögel, eßbare Tiere und Fische erworben und nach den Gebirgsgegenden gebracht werden." Es besteht für ihn kein Zweifel, der Bergbau ist trotz aller Einwände ein "ehrbares Gewerbe", denn man kann hier "große Haufen Goldes und Silbers herauschaffen", und der "Bergmann kann in kurzer Zeit großen Reichtum sammeln." Wenn auch nicht der Bergmann selbst, so doch diejenigen, "welche die Kosten des Bergbaus tragen": Könige, Fürsten und ehrbare Bürger" (Ullrich 1979, S. 41).

Im folgenden will ich am Beispiel technischer Einrichtungen aufzeigen, daß tatsächlich die technischen Einrichtungen den Gewinn der Grubenbesitzer erhöhten, die Arbeit der Bergleute aber insgesamt gesehen nicht erleichterten.

Durch den oberflächlichen Vergleich verschiedener in Bildquellen Agricolas dargestellter Maschinen zur Wasserhaltung wird nicht deutlich, daß die Ersetzung menschlicher Muskelkraft als Antrieb durch mit Pferdegöpeln oder mit Wasserkraft betriebene Pumpen oder Fördermaschinen den Bergleuten keine durchgängige Erleichterung brachte; zwar mußten nun die Bergleute nicht mehr an Pumpenschwengeln, Haspeln, Kurbeln, Fußgöpeln oder im Tretrad ihre Antriebsarbeit verrichten, so daß der Eindruck "Technik hilft" entstehen kann. Die Frage "Wem die Technik hilft?" greift jedoch

tiefer und führt zu der Einbeziehung des Verhältnisses von Produktivkräften und Produktionsverhältnissen. Dann wird deutlich, daß der zunehmende Einsatz nicht mehr von Menschen angetriebener Maschinen nicht auf philanthropische Ursachen, sondern auf den Zwang der Wasserhaltung in größeren Schachttiefen zurückzuführen ist und mit der Kapitalisierung der Bergbaubetriebe einherging: "Solange der Abbau nur wenig unter der Erdoberfläche erfolgte -oft trieb man einen Stollen nur schräg in einen Berg vor-, konnte der Bergbau mit Erfolg auf der Grundlage kleiner handwerklicher Produktionseinheiten durchgeführt werden. Im Bergbau dieser Zeit fand man häufig reine Familienbetriebe" (Jonas u.a., S. 200).



Arbeiter an der Entwässer-  
pumpe  
(Agricola, S. 149)

"Die Nachfrage nach Metallen, vor allem Eisen, Silber und Kupfer, stieg im 15. und 16. Jahrhundert sprunghaft an. Erförderung, Metallverarbeitung und Metallhandel warfen reichlich Profite ab. Um die Erzförderung zu steigern, mußte der Abbau weiter in die Tiefe vorgetrieben werden. Dazu waren die Entwicklung und Anwendung von -für die damalige Zeit- sehr großen Maschinen zur Wasserhaltung und Erzförderung Voraussetzung. Der Ausbau so ausgerüsteter Schachtanlagen erforderte zunächst die Investition beträchtlicher Kapitalsummen, bevor die Erzförderung aufgenommen werden konnte und Profit abwarf" (Jonas u.a., S. 200).

"Der weiter Fortschritt des Bergbaus hing in erster Linie davon ab, ob es gelang, weiter in die Tiefe vorzudringen. Alle Voraussetzungen waren dafür gegeben. Man beherrschte den Schachtbau, den Stollenbau und die Erzförderung -nur die Wasserhaltung bereitete Schwierigkeiten. Mit zunehmender Tiefe strömte unvergleichlich mehr Wasser in die Gruben ein, das aus den größeren Tiefen nicht mehr ausschließlich mit den alten Methoden ( ) abgeleitet werden konnte" (Jonas u.a., S. 198).

Für die zunehmende Tiefe brauchte man zunehmend effektivere Wasserhaltungssysteme. Die Menschenkraft, die in Kleinbetrieben bei geringeren Schachttiefen und Wassermengen noch ausreichte, mußte durch Tiere und -wo es möglich war- durch Wasserkraft ersetzt werden:

"Die Hebewerke in Form unendlicher Ketten mit Bechern erlaubten es (nach Agricola 1494 bis 1555), Wasser aus Tiefen bis zu 14 m zu heben. Mit Tretmühlen, durch Menschenkraft angetrieben, konnte

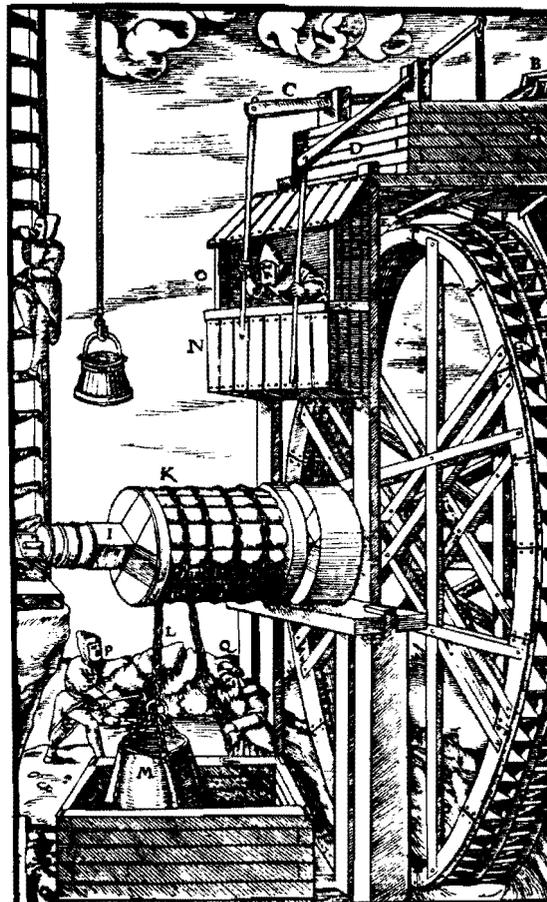
Wasser bis zu 20 m gehoben werden. Mit einem Pferdegöpel konnte Wasser aus Tiefen bis zu 70 m gehoben werden, wobei jeweils acht Pferde vier Stunden im Einsatz waren und insgesamt 32 Pferde für ein solches Hebewerk bereitstehen mußten" (Jonas u.a., S. 198).

Für die Bereithaltung und Verpflegung einer solchen Pferdeherde war mehr Betriebskapital nötig, als es Kleinbetriebe aufbringen konnten. Außerdem machten diese Großgruben den Kleingruben, denen zunehmend das hochprozentige Erz ausging, solche Konkurrenz, daß diese schließen und die Bergleute sich in den Großgruben als Lohnarbeiter verdingen mußten.

Noch deutlicher wird das, wenn man sich die größte Wasserfördermaschine mit Kehrrad betrachtet, die Agricola beschreibt (Agricola, S. 167-171). Durch Verwendung von "Lederbulgen" mit Eisenringen als Öffnung, die sich im Sumpf füllen, kann die ganze Maschine, mit der große Wassermengen aus erheblicher Tiefe gefördert werden können, von nur drei Mann bedient werden: dem "Maschinenwärter", der mit Hebeln die Förderrichtung bestimmt, und zwei Arbeitern, die die Bulgen entleeren bzw. die Feststellbremse bedienen. Die Kosten für den Bau einer solchen Maschine konnten natürlich nur von kapitalkräftigen Grubenbesitzern -meist reichen Kaufleuten- aufgebracht werden (vgl. Jonas u.a., S. 200).

Wem hat nun die Verwendung dieser schon fast automatischen Maschine geholfen?

Scheinbar hat sie Arbeiter von stumpfsinniger Arbeit an Pumpen, Göpeln und Laufrädern freigesetzt. Tatsächlich -und das eben tritt durch einen oberflächlichen Vergleich der Bildquellen nicht hervor- bedeutete sie vermutlich für die Arbeiter, die von Antriebsarbeiten freigesetzt wurden, den gesundheits- bzw. gar lebensgefährlichen Einsatz in tieferen Schächten mit stärkerer Wasserführung oder mit Staub- und Gasgefahr (vgl. Agricola, S. 183ff), die ohne die neue "Technik" gar nicht hätten errichtet werden können. Brachte also der Bergbau und die Technik den Kapitaleignern, die die finanziellen Kosten der technischen Investitionen trugen, riesige Gewinne, so brachte er den Arbeitern in tieferen Schächten größere Gefährdungen für Leben und Gesundheit und bürdete allen in den Bergbaugebieten lebenden Menschen die ökologischen und sozialen Kosten auf.



Kehrrad zur Wasserförderung. Raddurchmesser 10,70 m. Holzschnitt aus: Agricola, De re metallica (Basel 1556) S. 158 (aus: Klemm 54, S. 146)

So verbirgt sich hinter den oft idyllisch wirkenden Bildquellen Agricolas mit der "hilfreichen" Technik bereits eine frühkapitalistische Produktionsanwendung, die der "Industrialisierung" mit ihren Entfremdungs- und Ökologieproblemen sehr ähnlich ist.

"Der Bergbau stellte das Modell für spätere Formen der Mechanisierung dar -in seiner brutalen Mißachtung menschlicher Faktoren, in seiner Indifferenz gegenüber der Verschmutzung auf physikalisch-chemische Prozesse zur Erlangung des gewünschten Metalls oder Brennstoffs und vor allem in seiner topografischen und psychischen Isolierung von der organischen Welt der Kirche, der Universität und der Stadt" (Mumford, S. 502).

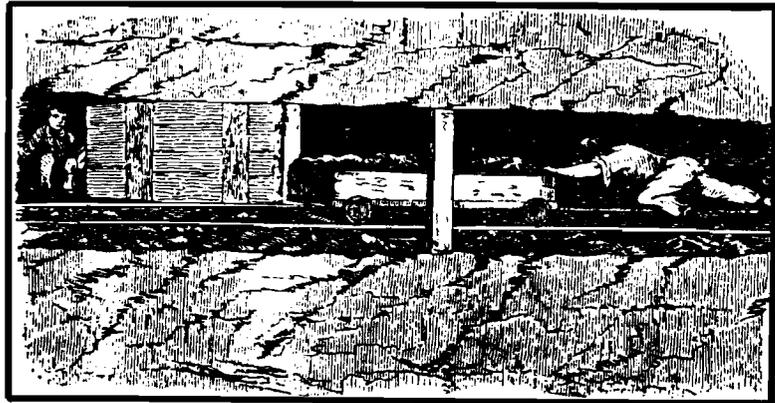
1.6. Kann die Frage "Wem hilft Technik?" auch bei der Beurteilung späterer technischer Entwicklungen hilfreich sein?

Karl Marx leitet sein Kapitel über "Maschinerie und große Industrie" mit einer Aussage John Stuart Mills ein: "Es ist fraglich, ob alle bisher gemachten mechanischen Erfindungen die Tagesmühe irgendeines menschlichen Wesens erleichtert hat", einer Aussage, die sicher auch für große Bereiche der vorkapitalistischen Anwendung einfacher mechanischer Maschinen zutreffend ist.

Für den Bereich der kapitalistischen Technologie beantwortet Marx die in Mill's Statement enthaltene Frage, warum die Technik keine Erleichterung mit sich bringt: "Solches ist jedoch auch keineswegs der Zweck der kapitalistisch verwandten Maschinerie... Sie ist Mittel zur Produktion von Mehrwert" (MEW 23, S. 391).

Daß die in dieser Sachanalyse herausgestellten Aspekte an der Frage "Wem hilft Technik?" sich auch über die einfachen und zusammengesetzten Maschinen auf industrielle Entwicklungen fortsetzen läßt, soll hier nur beispielhaft durch einen kurzen Hinweis auf die Dampfmaschine und ihre hauptsächliche Anwendung im Bergbau dargestellt werden.

Auch die Dampfmaschine erhielt ihre wesentlichsten Entwicklungsimpulse durch die Notwendigkeit besserer Bergwerkentwässerung (Klemm 1954, S. 207 ff) und wurde zuerst auch hauptsächlich im Bergbau zum Antrieb von Entwässerungspumpen eingesetzt. Mit dem Einsatz der Dampfmaschine war es nun möglich, auch überall dort, wo keine ausreichende Wasserkraft zur Verfügung stand, tiefere Schächte niederzubringen und zu entwässern.



*Knabenarbeit in einem englischen Kohlenbergwerk, 1842.*  
Nach: Reports from Commissioners of children employment (London 1842).  
Holzstich aus: Leipziger Illustrierte Zeitung, Bd. 3 (1844) Nr. 66, S. 221

(aus: Klemm 54, S. 309)

Statt zur Freisetzung von Arbeitern und Tieren auf Laufrädern und Göpeln diente die Dampfmaschine zur ungeheueren Extensivierung der Bergbautätigkeit (vor allem der Kohleförderung). Diese Extensivierung (und die Notwendigkeit aus immer tieferen Schächten möglichst viel Kohle für die überall zunehmend angewandten Dampfmaschinen zu fördern) führte in England zur Kinderarbeit unter Tage in einem nicht gekannten Ausmaß.

Auch über Tage wirkte die Dampfmaschine nicht als Befreiung, sondern brachte für das -sich aus vormals selbständigen Handarbeitern und Landbewohnern ständig vergrößernde- Proletariat eine zunächst immer extensivere Ausbeutung in den großen Fabriken durch eine ungeheuerere Ausdehnung des Arbeitstages mit sich, weil es für die Fabrikherren im Konkurrenzkampf darum ging, die teuren Investitionen für die Dampfmaschinen (und die Arbeitsmaschinen) durch eine vergrößerte Produktion und Produktivität, d.h. durch intensivere Produktion extensivere Ausnutzung der menschlichen Arbeitskraft wieder hereinzuholen (vgl. F. Engels: Lage der Arbeitenden Klasse in England, in: MEW Band 2).

### III. UNTERRICHTSSITUATIONEN

#### 1. Wasserhebeegeräte in den hydraulischen Gesellschaften

##### 1.1. Der Schaduf

Zu Beginn der Stunde wurde die Overheadprojektion eines Schadufs (vgl. Abb. M2, S.39) eingegeben. Das Unterrichtsgespräch sollte folgende Fragen klären

1. Welche Arbeit tun die Leute, die im Bild gezeigt sind?
2. Wozu machen die Leute die Arbeit?
3. Worin besteht nach Eurer Vermutung die Arbeitshilfe des Gerätes?
4. Wann sind Gewicht und Eimer nach Eurer Meinung im Gleichgewicht?

Das Ziel dieses Abschnittes sollten die Schüler erarbeiten:

Die Arbeit beim Schaduf besteht im Runterziehen des leeren Eimers; es ist leichter etwas zu ziehen (Körpergewicht einsetzen), als etwas zu heben. Hinzu kommt die Hebelwirkung.

Das im folgenden protokollierte freie Gespräch einer Schüler-Gruppe zur Schaduf-Projektion zeigt, daß die Schüler nicht so eindeutig von selbst auf die in der Planung antizipierten Fragen und Erkenntnisse zielen, sondern "Umwege" einschlagen und vielfältige andere Interpretationen zur Quelle liefern:

- S: "Sehr gut ist das ja nicht gezeichnet."  
S: "Das sind Eimer und hinten sind Gewichte, daß es leichter geht."  
S: "Wenn du den Eimer wieder runterlassen willst, wie willst du denn das machen?"  
-L: "Wozu ist die Maschine da?"  
S: "...um Felder zu bewässern..."  
S: "...das soll 'ne Schleuse sein..."  
-L: "Wo wären denn die Felder und wo der Fluß?"  
S: "...links müssen die Felder sein und rechts der Fluß..."  
-L: "Worin besteht die Arbeitserleichterung dieser einfachen Maschine?"  
S: "Die brauchen nicht soviel laufen, nur stehen bleiben und hoch- und runterziehen."  
S: "Da hilft die Maschine beim Hochziehen des Eimers..."  
S: "Da muß er gegen den schweren Stein wieder runterziehen..."  
S: "Trotzdem ist die ganze Arbeit mit dem leichten Hochziehen und dem schweren Runterziehen leichter."  
S: "Das den Eimerhochziehen ist gespart..."  
S: "Das zum Fluß runterbücken ist gespart..."  
S: "Es ist schwerer, wenn man gebückt etwas hochziehen muß, als wenn man im Stehen zieht."  
-L: "Wann ist der Eimer im Gleichgewicht...?"  
S: "...wenn es waagrecht ist und der Eimer gefüllt ist."  
S: "Dann muß er aber doch hochziehen..."  
-L: gibt Hinweis auf eine Waage im Gleichgewicht, die man an einer Seite anstößt.  
S: "...dann geht der andere runter..."  
S: "Meine Tante hat so einen Brunnen mit einer langen Stange, am Ende ist ein Zementblock dran."

...

Der Schüler erkennt die gleiche Funktionsweise von Ziehbrunnen und Schaduf.

Nach längerer Diskussion:

- L: "Was ist leichter, ziehen oder heben?"  
S: "Wenn man was zieht, ist das eigene Körpergewicht ja dabei."

Hier folgt eine lange Diskussion über das Problem, das ein Schüler aufwirft, der einwendet, man könnte über eine feste Rolle höchstens sein Eigengewicht ziehen, während man mit der Kraft der Beine ein größeres Gewicht als das Körpergewicht stemmen könne. Der Einwand von Carsten wird nach kontroverser Diskussion durch den Lehrerhinweis ausgeräumt, daß es sich ja um kleinere Gewichte und um eine mehrstündige kontinuierliche Hebearbeit handle, nicht aber um eine einmalige Höchstleistung.

Das Gespräch zeigt, daß die Schüler das Ziel im wesentlichen erreicht haben. Die Hebelwirkung ist ja bei der Bildquelle kaum zu erkennen, da beide Arme fast gleich lang sind (vgl. S.2).

Viele Schülerideen, die scheinbar abwegig sind -wie z.B. die Interpretation des ganzen als Schleuse- sind durchaus diskutabel. Auch in der von Sonnemann herausgegebenen "Geschichte der Technik" findet sich die Interpretation dieser Bildquelle als Schleuse (Sonnemann (Hrsg), S. 67). Es kann in der Tat sein, daß der Schaduf bei Schleusen Verwendung fand. Seine Hauptaufgabe allerdings war die Bewässerung von Gebieten über dem Niveau des Flußwassers. Wichtig ist, daß die Schüler erkennen, welchen Einfluß der Einsatz

des Schadufs für die körperliche Arbeit hat: Das zum Fluß Laufen, das Bücken, das Hochziehen mit Kraft entfällt. Auch das Einbringen der Alltagserfahrung mit einem Ziehbrunnen, der nach dem gleichen Prinzip arbeitet, ist von Bedeutung.

Beim Nachbau der Schaduf-Modelle kam es, je nach dem, welche Materialien eingegeben wurden, zur Konstruktion verschiedener Schadufs, aber auch zu freiem Experimentieren mit Waagebalken, Hebeln, Kraftmessern und Gewichten. Der Arbeitsauftrag dabei hieß: Versucht mit den vorhandenen Hilfsmitteln einen Schaduf nachzubauen.

Mit dem Modell sollten dann folgende Messungen durchgeführt werden:

1. Notwendige Kraft zum Heben des wassergefüllten Gefäßes am Seil;
2. Notwendige Kraft zum Senken des leeren Gefäßes.

Die Schülergruppen haben ihre Schaduf-Modelle mit vorhandenem Stativmaterial aufgebaut. Eine Drehmuffe hält den Hebel beweglich. Ein Tonnenfuß dient als verstellbares Ausgleichsgewicht.

Für viele Schüler lagen beim Experimentieren Schwierigkeiten darin, dem Text des Arbeitsblattes die richtigen Informationen zu entnehmen.

So übersahen manche Schüler, daß die Arbeiter am längeren Hebel wirken, was dem Bild allein ja nicht zu entnehmen ist.



Wann ist der Schaduf mit dem gefüllten Gefäß im Gleichgewicht?

Alle Schüler, die mit dem Tonnenfuß als Ausgleichsgewicht arbeiteten, entdeckten von selbst, daß durch einfaches Verschieben des Tonnenfußes auf der drehbaren Stativstange der Schaduf richtig austariert werden konnte.

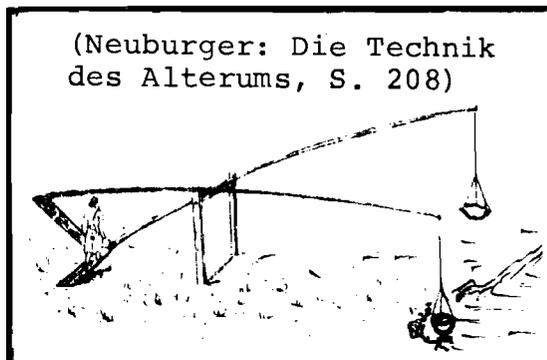
Bei den Messungen zeigte sich, daß viele Schüler die Kraftmesser zuerst an dem Ende ansetzen, an dem gar keine Arbeiter wirkten. Auch der Trick, daß beim richtiggebaute Schaduf die Kraft zum Heben  $\leq 0$  sein muß, erkannten nicht alle Schüler gleich.



Kommt er mit dem gefüllten Eimer von selbst hoch?

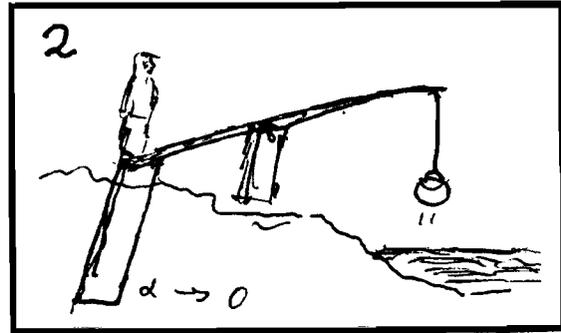
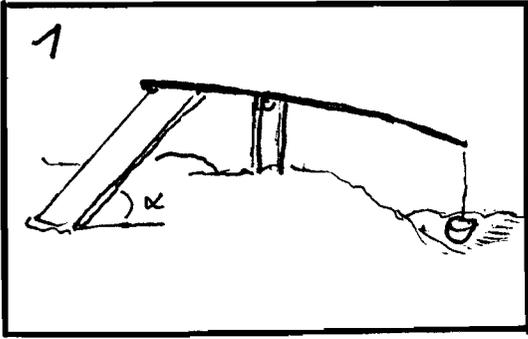
## 1.2. Interpretation und Bau eines Tretschöpfwerkes

Philon von Byzanz beschreibt eine "dem Schaduf ähnliche Einrichtung zum Schöpfen des Wassers, bei der am hinteren, gleichfalls kürzeren Hebelarm eine Tretvorrichtung angeleitet ist. Dadurch, daß der Arbeiter auf sie (Ein einfaches Brett) hinauftritt, hebt sich der Eimer" (Neuburger, S. 207).



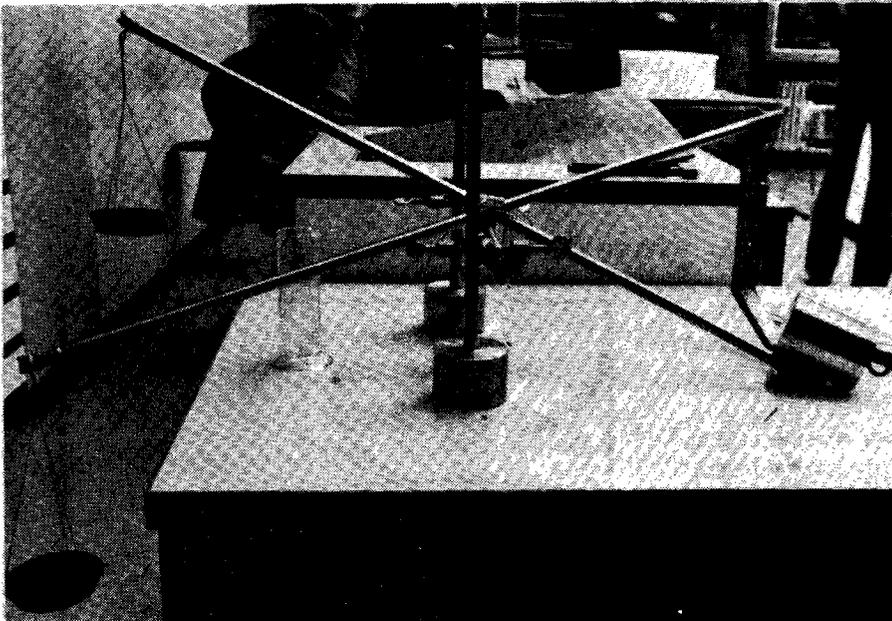
(Neuburger: Die Technik des Alterums, S. 208)

Nach Auffassung des Verfassers stellt das nebenstehende Bild dieses Schöpfwerk in zwei Phasen dar, d.h. der Mechanismus besteht aus einem zweiseitigen Hebel mit einem Eimer, an dessen kürzeren Ende ein Laufbrett befestigt ist (s. Skizze 1 und 2, S.26).



Ein Lehrer und seine Schüler-Gruppe, die dieses Schöpfwerk als Zusatzaufgabe bauten, kamen jedoch zu der Überzeugung, in der Zeichnung seien zwei mit Brettern verbundene Schöpfungsbalken dargestellt.

Obwohl diese Interpretation vermutlich die Bildquelle falsch auslegt, bauten die Schüler doppelte Schöpfleinrichtungen, die durch einfaches Verschieben eines Gewichts auf den Verbindungsbrettern hervorragend funktionierten. Die Schüler hoben hervor, daß bei einem so gebauten Wasserhebergerät durch einfaches Hinundhergehen eines Menschen eine doppelte Förderarbeit geleistet wird.



Bei der Simulation des Arbeitsprozesses wird das Gewicht auf den Brettchen verschoben. Die Schalen sind mit Wasser gefüllt.

Obwohl nicht eindeutig geklärt werden konnte, welche Interpretation der Zeichnung des Philon richtig ist, haben die Schüler mit ihren Funktionsmodellen durchaus den Beweis erbracht, daß ihr Doppelschöpfwerk ohne wesentliche Erschwernis der Arbeit mit drei Mann (ein gehender Arbeiter auf den Brettern zwischen den Kraftarmen, zwei Arbeiter an den beiden Lastarmen, um die gefüllten Gefäße in das höhergelegene Bewässerungsgefäß auszuleeren) ebensoviel leisten kann, wie zwei einfache Schöpfwerke mit vier Arbeitern.

Ein Simulationsspiel, bei dem die Doppelschöpfmaschine mit der einfachen Maschine verglichen wird, hätte durch die Volumenmessung der in einem gewissen Zeitraum erbrachten Wasserförderleistung noch genauere Aufschlüsse geben können.

## 2. Schwertransport in Mesopotamien

### 2.1. Diskussion der Bildquelle: Transport einer Torsteherfigur

Auf einer Overheadfolie wird der Transport einer Torsteherfigur gezeigt (s.M 13, S. 53).

Der Schüler Martin übernimmt die Diskussionsleitung (M).

- M: "Weiß jemand, wie der Block vorwärts bewegt wird?"  
S: "Versteh' nicht, daß da keine Rollen drunter sind."  
S: "Die hatten noch keine Rollen."  
S: "Das ist doch einfacher, das zu rollen, als zu schieben."  
S: "Warum haben die keine Räder genommen?"

Einige Schüler weisen darauf hin, daß die im Bild gezeigten Leute durchaus schon Wagen mit Rädern verwendet haben, weil solche im Bild zu sehen sind.

- S: "Weshalb hatten die die Räderwagen? Waren die für kleinere Dinge gemacht?"  
M: "Vielleicht, weil bei dem schweren Block die Achsen brechen würden."  
S: "Da sind Rollen untergelegt."  
S: "Aber Rollen würde man ja von der Seite zeichnen."  
S: "Weshalb ist dahinten dieser Balken da?" (gemeint ist der Hebel)  
S: "Da wird das ganze Ding mit hochgehoben."  
S: "Weiß jemand, was die da auf dem Ding machen?" (gemeint sind die Leute auf dem Block)  
S: "Ich möchte mal zeigen, wie das mit dem Hebel geht."

Karsten demonstriert und erklärt mit Holzkeil, Stativstange und Ziegelstein, wie das Monument vorwärts gewuchtet wird. Alle schauen zu und kommentieren.

Der Lehrer fragt Karsten:

- L: "Die Leute am Keil, was machen die?"  
S: "Die halten den Hebel nicht fest, die schieben den Keil nach vorne vor dem Wuchten der Hebelstange, und wenn sie's hochgewuchtet haben, dann fällt der Stein vorn runter und der Keil wird nachgeschoben."

Danach versuchen die Schüler, die schon mehrfach angesprochene Funktion und die Form der Hölzer, die unter die Kufen der Schleife (Transportschlitten) gelegt werden, herauszufinden.

Neuburger interpretiert die Hölzer in einer ähnlichen Darstellung:

"Unter den Kufen Hölzer, wahrscheinlich Rundhölzer, die vermutlich dazu dienen, die gleitende Reibung in eine rollende zu ver-

wandeln. Hierfür und für ihre Querlage spricht die Art, wie der Mann das Holz, das er unterlegen will, hält, und die perspektivische Verkürzung des hinter seinem Kopfe liegenden Holzes. Dagegen spricht die Lage der Hölzer dicht vor dem Hebelarm, bei denen jedoch auch Verdrehung und seitliches Herausgleiten angenommen werden kann." (Neuburger, S. 314).

Gegen die Theorie, daß es sich bei den Hölzern um Rollen handele, wurde eingewendet: Rollen würden nur auf hartem Untergrund etwas nützen. Die Rollen würden im Sand wegrutschen, mit untergelegten Holzplättchen würde der Schlitten dagegen nicht so stark einsinken und obenbleiben.

Auf jeden Fall waren sich schließlich alle Schüler einig, daß durch die Hölzer -ob runde Rollen oder Gleitplatten- die Unebenheit und Rauheit des Bodens ausgeglichen werden sollte. Indirekt hatten die Schüler hiermit das Reibungsproblem angesprochen.

## 2.2. Experimente zur Verringerung der Haft- und Gleitreibung und zur Anwendung des Hebels im Schwertransport

### Freies Experimentieren:

Jede Gruppe rüstete sich mit bereitgestellten Ziegelsteinen, Kraftmessern, Plättchen und Rollen und Klötzen sowie Hebelstangen und Teppichfliesen aus. Für die Befestigung der Kraftmesser am Stein stand Bindfaden zur Verfügung.

Zunächst probierten die Schüler aus, den Ziegelstein auf der Teppichfliese ohne Hilfsmittel zu schieben, und stellten fest, daß weit mehr Kräfte nötig sind, den Stein auf der Fliese ins Rutschen zu bringen, als auf glatten Unterlagen.

Andere verglichen auf Anregung des Lehrers

das Gewicht des am Kraftmesser aufgehängten Ziegelsteins mit der Kraft die zur Überwindung der Haftreibung nötig ist. Dabei fanden die Schüler heraus, daß zur Überwindung der Haftreibung (das ist der Auszug des Kraftmessers in dem Moment, wo sich der Stein in Bewegung setzt) eine größere Kraft nötig ist, als die, die danach erforderlich, um den Stein in Bewegung zu halten. Außerdem ermittelten die Schüler, daß die Kraft zur Überwindung der Haftreibung auf der Fliese weit größer ist, als die Gewichtskraft des Steins.



Eine andere Schüler-Gruppe verfolgte in der Diskussion die Frage nach der Funktion des Hebels. Sie arbeitete ohne Verwendung eines Kraftmessers und stellte fest:

Schon mit etwas Kraft am Hebel (in diesem Fall wird im Unterschied zur Bildquelle ein einseitiger Hebel verwendet) kann der Ziegelstein vorwärts gewuchtet werden, auch wenn ein Schüler mit aller Kraft dagegen drückt.

#### Gelenktes Experimentieren:

Mit dem Arbeitsbogen wurden folgende Aufgaben gestellt:

- Versucht mit möglichst wenig Kraft einen Ziegelstein mit vergleichbaren Mitteln, wie sie in der Bildquelle zu sehen sind, auf der Teppichfliese zu bewegen.

#### Arbeitsschritte:

1. Meßt die Kräfte mit dem Kraftmesser, die Ihr braucht, um den Ziegelstein ohne Hilfsmittel in Bewegung zu setzen.

Hinweis: Beim Ziehen lest die Kraftmesser ab, wenn sich der Ziegel gerade in Bewegung zu setzten beginnt.

2. Meßt die Kräfte, wenn Ihr Hilfsmittel verwendet (Rollen und Gleithölzer ).
3. Versucht herauszubekommen, welche Funktion der Hebel beim Transport haben kann?

In der nebenstehenden Anordnung, bei der -wie bei einer Schiene - Rollen auf Holzplättchen gelegt sind, wird der geringste Kraftaufwand gebraucht, um den Ziegel in Bewegung zu setzen. Aufgrund ihrer Messungen kamen die Schüler zu dem Schluß, daß Rollen auf Schienen bzw. einer harten Unterlage noch weniger Reibung haben als einfache Rollen





zwischen Stein und Fliese. Die Zugmessung wird durchgeführt. Sobald sich der Stein in Bewegung setzt, wird der Auszug des Kraftmessers abgelesen.

Die Messungen: (Überwindung der Haftreibung)

- |  |        |
|--|--------|
| 1) Ohne Hilfsmittel auf Teppichfliese        | 3500 p |
| 2) Mit Gleitplättchen                        | 800 p  |
| 3) Mit untergelegten Rollen                  | 450 p  |
| 4) Mit Holzplättchen als Schienen und Rollen | 350 p  |

Hier wird die Funktion des zweiarmigen Hebels untersucht.

Viele der Schülergruppen vergaßen beim experimentellen Umsetzen der Bildquelle, daß der Keil als Drehpunkt des Hebels gesehen werden muß. Die Kraft am Hebel muß, wie bei dieser Versuchsanordnung zu sehen ist, nach unten gerichtet sein.



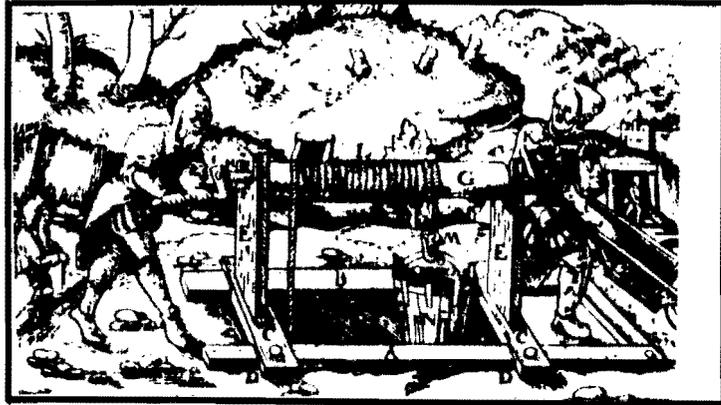
Die Gruppe machte folgende Messungen:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Ziegel auf der Teppichfliese                    | 4000 p                            |
| Ziegel auf Rollen gezogen                       | 400 p                             |
| Ziegel gezogen und gehebelt                     | 200 p am Zugseil<br>50 p am Hebel |
| Hebel allein gezogen, bis sich der Stein bewegt | 50 p                              |

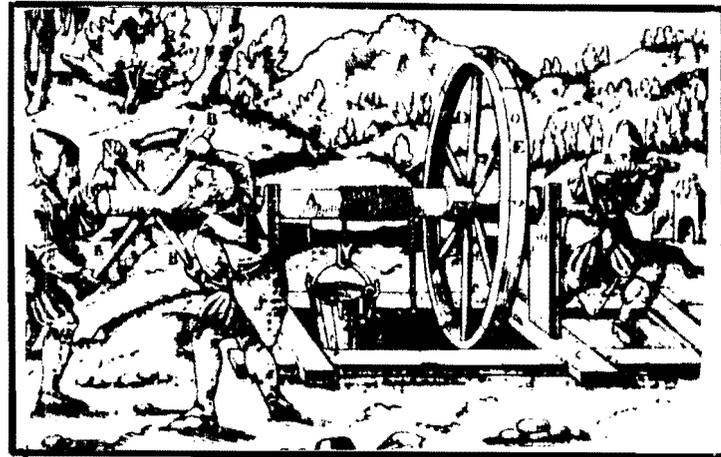
### 3. Das Schwungrad in der Fördermaschine

#### 3.1. Erste Interpretation der Bildquellen

Zu Beginn des Unterrichtsabschnittes über zwei Fördermaschinen im Bergbau zu Zeiten Agricolas wurden die Projektionen zweier einfacher Maschinen zur Förderung von Erz und Gestein bzw. zur Entwässerung gezeigt. Die Fördermaschinen enthalten die bekannten mechanischen Elemente Kurbel und Haspel, die auf Rolle und Zugseil wirken. Das Förderseil liegt so auf dem Rundbaum (Rolle) auf, daß, zugleich mit dem Aufwinden des gefüllten Eimers, der geleerte Eimer heruntergelassen wird. Die Maschinen unterscheiden sich nur dadurch von einander, daß die zweite zusätzlich ein Schwungrad enthält.



Ausschnitt aus Agricola S. 131



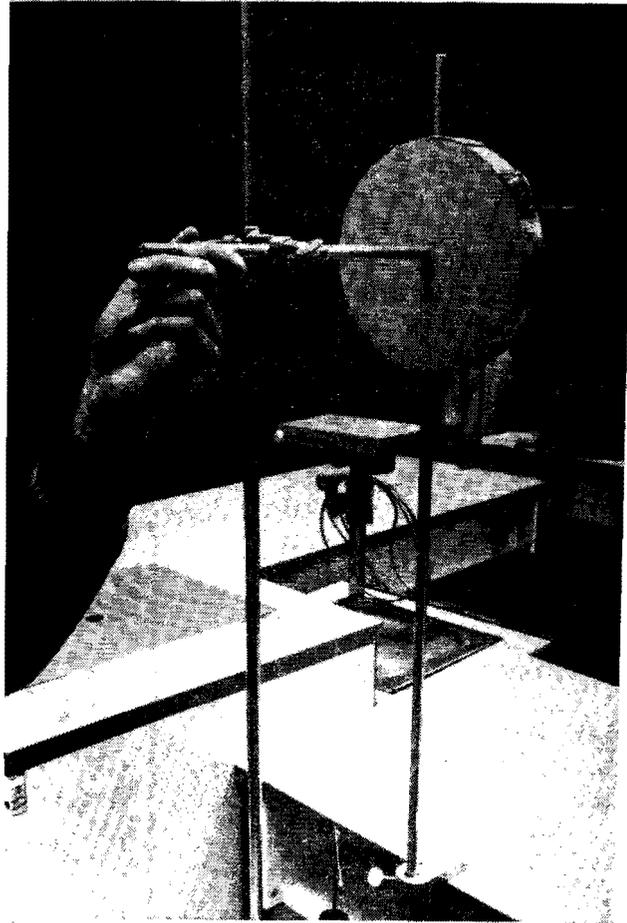
Ausschnitt aus Agricola S. 132

- L: "Was seht ihr an den Maschinen?"  
-L: "Was ist da der Unterschied zwischen den beiden Maschinen?"  
S: "Was soll denn das Rad da bedeuten?"  
S: "Schätze, das ist fehl am Platz!"  
-L: "Beschreibt erst mal, wie die Maschinen funktionieren."  
S: "Beim obersten Bild funktioniert das wie beim Brunnen, beim untersten wird das durch das Rad erleichtert."  
S: "Die haben das Seil so aufgewickelt, daß einer immer runtergeht, und daß der andere hochgeht."  
S: "Könnte sein, daß das Rad zur Bremse dient."  
S: "Mit dem Rad dreht es sich leichter."  
-L: Faßt drei Vermutungen über das Rad als Tafelanschrift zusammen:
1. ohne Funktion
  2. Erleichterung der Arbeit.
  3. Möglichkeiten zum Anhalten.

### 3.2. Experimenteller Nachbau der beiden Fördermaschinen

#### Der Aufbau:

Zwei Stative wurden an zwei Tischen befestigt, um zwischen den Tischen vom Fußboden bis zum Ende der Stativstangen "fördern" zu können. In gleicher Höhe wurde an jedes Stativ eine Doppelmuffe geschraubt, in die das Rundholz drehbar eingelegt wurde. Am Rundholz wurde ein Bindfaden und an diesem ein Gewichtsteller mit Haken befestigt (als Fördereimer), in den man Gewichte (als Fördergut) einhängen konnte.



Schon beim ersten Drehen an der Schwungradmaschine rief ein Schüler: "Mit dem Schwungrad kann man kleine Pausen machen!"

Eine Gruppe, die beide Maschinen nachgebaut hatte und mit einer Stoppuhr die Zeit maß, die zum Hochdrehen der Gewichte vom Fußboden bis zum Rundholz nötig war, fertigte folgenden Tafeltext:

Mit Rad 11 sec., ohne Rad 17,3 sec. Mit Rad mehr Schwung als ohne Rad, das Rad dreht sich weiter. Ohne Rad dreht sich das Band mit.



Nach diesen Experimenten konnten die Schüler die Funktion des Schwungrads wesentlich klarer beschreiben:

- Karsten: "Mit Rad kann man kurze Pausen machen, weil das Rad noch Schwung hat, ohne Rad dreht es gleich wieder runter, wenn man losläßt."  
Angelique: "Ohne Rad muß man ständig drehen, das ermüdet! Aber mit Rad braucht man nur einmal drehen, da braucht man aber Kraft."  
Metin: "Deshalb sind da mit dem Schwungrad auch drei Männer am drehen."  
Lehrerin: "Warum?"  
Metin: "Sehr schwer, da erstmal Schwung zu holen."

Zur weiteren Erarbeitung wurde die Beschreibung der Maschinen von Agricola eingegeben:

"Wenn aus größerer Tiefe gefördert wird, haspeln drei Männer. Denn wenn der Rundbaum einmal in Umdrehung versetzt ist, wird er durch die Bewegung des Rades unterstützt, so daß er wesentlich leichter gedreht werden kann. Zuweilen werden an diesem Rade Bleistücke befestigt oder auch an seine Speichen gebunden, damit bei der Drehung durch das vermehrte Gewicht die Schwungkraft größer wird".

Die Lehrerin versuchte nun zur Arbeit mit diesem Text überzuleiten.

- L: "Da ist noch ein Grund genannt, warum man Maschinen mit Rädern einsetzt?"  
S: "Um die Arbeit zu erleichtern."  
Metin: "Um aus größerer Tiefe rauszuholen. Aus kürzerer Tiefe schafft man das ja noch ohne Rad. Mit Rad hat man dann Pausen. Wenn aber aus größerer Tiefe das Erz hochgeholt wird, brauchen die Arbeiter mehr Kraft, um das Rad in Schwung zu bringen, und sie werden auch keine Pausen mehr haben. Außerdem sind ja zwei Eimer da."

Danach versuchten die Schüler der Behauptung nachzugehen, ob durch Bleistücke wirklich die Schwungkraft größer wird. Zu diesem Zweck nageln sie (wie auf dem Foto zu sehen) Bleistückchen (aus vorher vom Lehrer zurecht geschnittenen Bleiblechstreifen gefaltet) an den äußeren Rand der hölzernen Schwungscheibe. Manche Arbeitsgruppen nageln die Bleigewichte anfänglich so unsystematisch an die Scheibe, daß beim Drehen große Unwuchten entstehen. Eine Maschine fällt deswegen sogar



"Wenn das Bleirad in Schwung gebracht ist, zieht es das Gewicht fast von selbst hoch. Wie lang ist die Förderzeit?"

aus ihren Lagern heraus. Die Schüler finden selbst heraus, daß die Gewichte "gleichmäßig" angebracht sein müssen.

### 3.3. Wem hilft das Schwungrad in der Fördermaschine? - Ein Simulationsspiel -

Bisher hatte der Unterricht in allen Schüler-Gruppen höchstens das Ergebnis gebracht, daß das Schwungrad für Haspler eine sinnvolle Verbesserung der Fördermaschinen darstellt. Damit war aber noch nicht das Ziel erreicht, die Anwendung technischer Verbesserungen als Produktivkraftentwicklung und nicht als Hilfe zur Arbeitserleichterung zu vermitteln.

Diese Auswirkungen des Schwungrades sollten mit Hilfe eines Simulationsspiels direkt erfahrbar werden. Die Grundidee des Simulationsspiels bestand darin, die Schüler mit einfachen Rundbaummaschinen, mit Schwungradmaschinen und mit Fördermaschinen eine gewisse Zeit Schlitzgewichte als "Fördergut" fördern zu lassen, und dabei die unterschiedliche Förderkapazität, aber auch die unterschiedliche Arbeitsbelastung für den Haspler sowie für die Ein- und Auslader spürbar werden zu lassen.

In jeder "Förder-Gruppe" gab es folgende Rollen zu besetzen: Bergwerksbesitzer, Haspler, (an der Förderkurbel), Einlader (unten im Bergwerk, d.h. am Fußboden) und Auslader (oben auf der Förderhöhe-Tischhöhe-).

In einer festgesetzten Spielzeit förderten die Schüler im Wettbewerb.



Hinterher mußten die "Besitzer" ihre Arbeiter mit einem Teil der geförderten Menge (bzw. einem Spielgeldäquivalent) "entlohnen" und die Ergebnisse der Arbeit wurden verglichen. Es zeigte sich bald, daß die Fördermaschine mit Schwungrad und einer Doppeleimerförderung (wenn der leere Eimer heruntergelassen wird, wird gleichzeitig der gefüllte Eimer hochgezogen) am effektivsten war. In einer Schüler-Gruppe formulierte ein "Bergwerksbesitzer": Wenn ich Grundbesitzer wäre, würde ich die Maschine mit Schwungrad und Doppeleimer kaufen, da kann man das meiste rausholen".

Weit schwieriger war die Erkenntnis, daß diese "effektive" Maschine für die Arbeiter eine erhebliche Erhöhung ihrer Arbeitsleistung bedeutete. Das hing natürlich auch damit zusammen, daß sich im Spiel die Schüler mit "ihrer" Leistung in "Konkurrenz" mit

den anderen Gruppen identifizieren, sauer auf ihre "schlechte Maschine" ohne Schwungrad waren und nicht auf die von ihnen geförderte Arbeitsleistung achteten.

Erst eine gezielte Auswertung in einer Klasse, bei der nach dem Spiel die Besitzer, die Lader und die Haspler erstmals in Kleingruppen ihre Erfahrungen austauschten, führte zu unterschiedlichen Erkenntnissen der Schüler und damit zum Auftreten von Widersprüchen:

- Die Besitzer erkannten sofort, welche Maschine am effektivsten war, weil sie die Fördermenge und den Ertrag (nach Abzug der Arbeitslöhne) verglichen.
- Die Haspler und Lader identifizierten sich zunächst mit der Förderleistung, beklagten das "Zusammenbrechen ihres Bergwerks" im Spiel, weil sie sonst mehr geschafft hätten. Erst später bewerteten sie sich über den "Druck", den der Besitzer durch "Antreiben" ausgeübt hatte. Durch den Wettbewerbscharakter des Spieles kam zunächst kein Haspler oder Lader auf die Idee, die Arbeitsbelastungen an den unterschiedlichen Maschinen zu vergleichen.



An einer Fördermaschine mit nur einem Eimer entstand für die "Arbeiter" jedesmal eine Pause, wenn der leere Eimer hinabgelassen wurde, da er von selbst abrollte. Dagegen mußte der Haspler an den Doppeleimermaschinen ununterbrochen fördern -er hatte nur noch beim Ein- und Ausladen kurze Pausen, und die Lader hatten das Doppelte zu tun. Das Schwungrad erleichterte zwar (im Simulationsspiel) dem Haspler die Förderarbeit, brachte aber für die Lader eine erhebliche Intensivierung ihrer Arbeit, weil die Fördergeschwindigkeit (zwischen dem Beladen) enorm stieg. Der Widerspruch bestand also in der zwiespältigen Erfahrung, daß das Schwungrad zwar die Förderarbeit erleichterte, aber durch die Beschleunigung der Förderzeit die Arbeitsintensität und Belastung erheblich stieg.

Im Unterrichtsgespräch wurden nun die Folgeprobleme der technischen Verbesserung für die Arbeiter nicht sofort klar erarbeitet: Erst als das Gespräch auf "Pausen" und "Akkord" kam, versuchten die Schüler ihre Spielerfahrungen aus den 15 Minuten Spielzeit auf einen richtigen Arbeitstag zu übertragen.

Jetzt erst wurde ihnen ansatzweise deutlich, daß die Maschine, die am wenigsten fördert, für die Arbeiter die meisten Pausen und den wenigsten Streß mit sich bringt. Diese Überlegung stand aber im Konflikt mit der konkreten Erleichterung, die die Schüler bei der Schwungradmaschine erfahren hatten. Diese brauchte man nur anzuwerfen, im Gegensatz zur einfachen Fördermaschine, an der ununterbrochen mühselig gehaspelt werden mußte, wobei jedes Loslassen ein sofortiges Abrollen des Eimers bewirkte.



Um den Doppelcharakter der "technischen Innovation" Schwungrad weiter zu erarbeiten, hätte sich jetzt ein Arbeiten mit der Textquelle angeboten, aus der deutlich wird, daß im Produktionsprozeß das Schwungrad vor allem zur Rationalisierung (nicht aber zur Arbeitserleichterung) eingesetzt wird. Im Unterricht versuchte der Lehrer ohne Textarbeit die Diskussion auf den Widerspruch zwischen den Schülern zuzuspitzen:

L: "Wem hilft denn nun das Schwungrad?"

S: "Dem Haspler!"

S: "Mit Schwungrad kann man's weiterlaufen lassen..."

Schüler und Lehrer vergleichen nun Maschinen mit Doppeleimerförderung und solche mit einem Eimer:

L: "Ganz genauso. Jetzt komme ich eigentlich auch auf die Frage, die Du gerade beantwortet hast. Also die Leute haben ein Schwungrad und zwei Eimer genommen; damit geht es schneller. Oder geht es damit einfacher?"

S: "Leichter und..."

L: "Leichter. Für wen geht's leichter?"

S: "Für die Arbeiter."

L: "Für die Arbeiter, so."

S: "Und den Gewinn steckt der Obermacker ein..."

S: "Geht doch schneller, weil, wenn man einen Eimer hat, schafft man nur die Hälfte."

L: "Ja. Jetzt mal ne ganz andere Frage. Ihr müßt irgendwie eine Arbeit verrichten, irgendeine, körperliche Arbeit, relativ schwer, nehmen wir mal an, mit einem Strick schwerbeladene Eimer aus dem Bergwerk ziehen. Da habt Ihr gesagt, das ist ja Wahnsinn,

da brauchen wir ne Haspel. Haspel, Strick dran gedreht. Jetzt ist einer gekommen, der hat gesagt, ich hab da so ne prima Maschine, die nennt sich Schwungrad und Haspel und da könnt Ihr auch zwei Eimer dranhängen. Sollt mal sehen, wie einfach das geht. So, ich geb Euch mal die Maschine, es hilft Euch. So, wie würdet Ihr reagieren?"

S: "Annehmen."

L: "Annehmen?"

S: "Erst einmal ausprobieren."

S: "Ja, erst mal ausprobieren."

L: "Gut, ausprobiert haben wir das nun. Das Ergebnis ist bekannt."

S: "Die große Maschine würde ich trotzdem nicht nehmen, weil die mehr fördert, obwohl alle Löhne kriegen wie vorher."

S: "Nee."

L: "Ja."

S: "Müßt doch gleich arbeiten, sind doch zwei Eimer. Guck mal, die haben 47 raufgeholt."

S: "Ja, aber das gewinnt doch nur der Fabrikbesitzer, wir doch nicht."

S: "Wenn es auf einmal geht, wäre es besser."

S: "Fabrikbesitzer ist doch der Gewinner."

S: "Na und, sonst ziehst Du 80 mal hoch."

S: "Also, da zieh ich lieber weniger hoch."

S: "Ja, genau..."

L: "Wie ist das mit Maschinen, wem helfen die Maschinen?"

S: "Dem Menschen."

S: "Den Arbeitern."

S: "Nee."

S: "Dem Fabrikbesitzer."

S: "Dem Besitzer."

L: "Wem denn nun?"

S: "Maschinen helfen jedem."

S: "Je besser die Maschinen sind, je besser fördern sie... nützt dem Besitzer."

Jetzt erst konnten die Schüler deutlicher den Doppelcharakter erarbeiten und zogen schließlich auch Parallelen zu neuen ambivalenten technischen Entwicklungen, wie den neuen Drucktechniken, die die Drucker arbeitslos machen können.

IV. BILD-QUELLEN, TEXTE UND MATERIALIEN

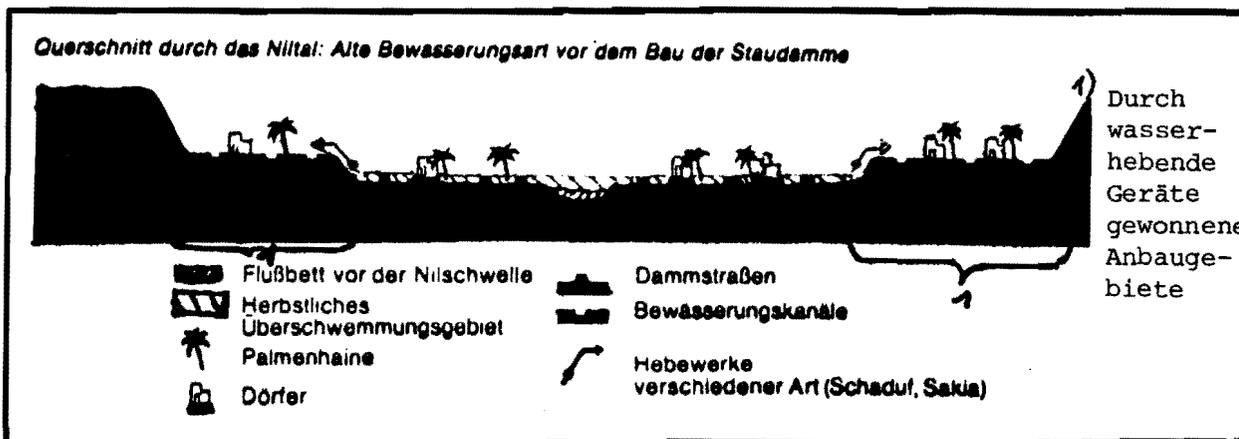
4. Vom Wasserheben für Bewässerungszwecke

"Die künstliche Bewässerung nahm in frühgeschichtlicher Zeit eine technologische Schlüsselstellung ein, aus der heraus sie die Entstehung vieler anderer technischer Einrichtungen beeinflusste und vor allem auch eine starke Wirkung auf die menschliche Gesellschaft und die soziale Ordnung ausübte."

(aus: Smith, S. 9)

Besonders in Mesopotamien, Ägypten und China wurden verschiedene Geräte entwickelt, die Wasser auf höhergelegenes Niveau heben konnten. Hier finden sich verschiedene Anwendungen des Hebels in der Form des Schadufs oder der Picota sowie tierangetriebene Schöpfleinrichtungen aber auch geniale Konstruktionen wie die "archimedische Schraube" oder das "chinesische Wasserrad mit Bechern."

Dadurch war es in den Trockengebieten möglich, auch über dem Hochwasserniveau der Flüsse liegende Flächen zu bewässern und für den Anbau zu nutzen. Ohne den Bau von großen Staudämmen (die durch Hebung des Wasserspiegels den gleichen Effekt ohne notwendige Hubarbeit herbeiführen können) konnte so eine große Erweiterung der Anbaufläche herbeigeführt werden.



Brauchbare Medien zur Darstellung der Bewässerung in den Strom  
oasen

Film:

"Flußoase Nil" Best.-Nr. 320631  
16 mm Lichtton, Farbe, 16 Minuten, 1963

Das alljährliche Hochwasser des Nils in Trick- und Realaufnahmen, Assuan-Staudamm von 1912 (der neue wurde erst 1970 fertiggestellt), Wandlung der Bewässerung vom Wasserrad zur motorisierten Feldbewässerung.

Farbdiareihe:

"Bewässerung am Nil" Best.-Nr. 100627

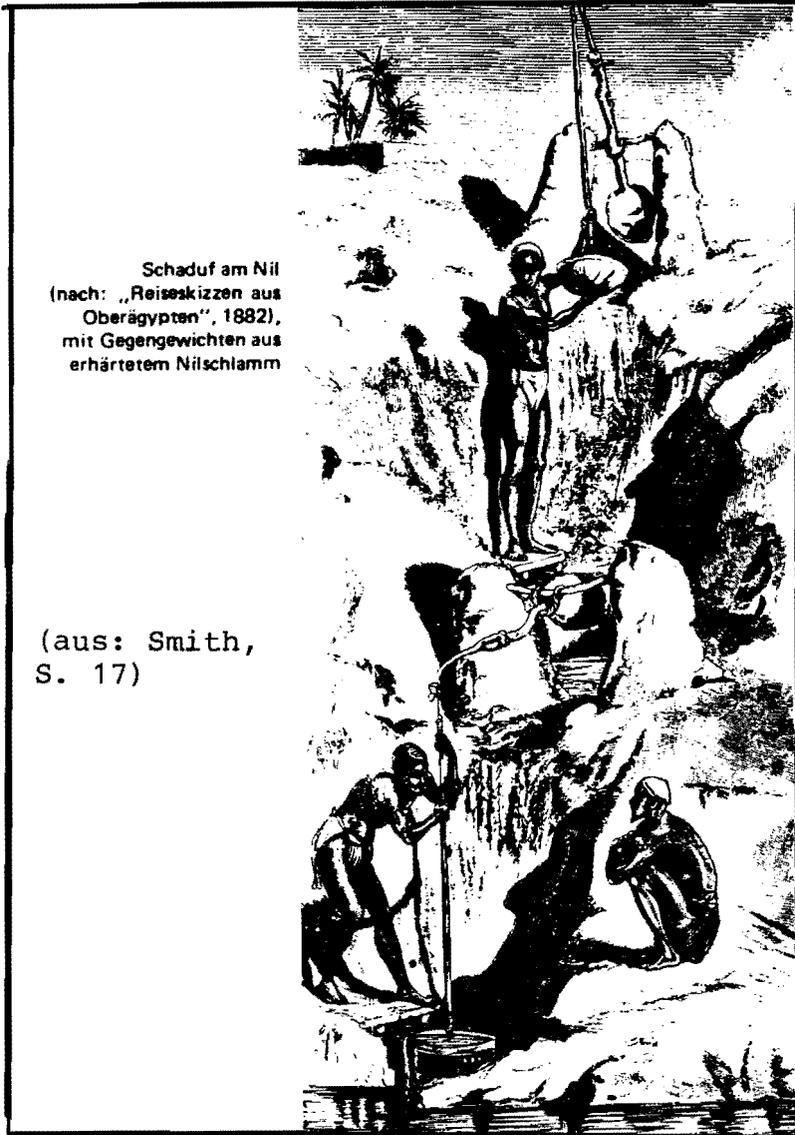
Der Schaduf:

"Nicht alle Bewässerungsaufgaben konnten einfach dadurch gelöst werden, daß Wasser in ein Netz von Kanälen geleitet wurde. Häufig mußte das Wasser auch auf größere Höhen angehoben werden. Wenigstens eine mechanische Vorrichtung wurde schon sehr früh zu diesem Zeitpunkt eingesetzt: der berühmte Schaduf, der auch als Schöpfweiser bezeichnet wird, ist eine sehr alte Hebelvorrichtung (s. Bild), die schon 2500 v.Chr. auf akadischen Reliefs abgebildet wurde und um 2000 v. Chr. in Ägypten erscheint. Der Schaduf ist noch keine Maschine, die die Arbeitskraft von Mensch und Tier ersetzt; aber er versetzte Menschen oder Gruppen von Menschen in die Lage, ohne Unterbrechungen und schneller zu arbeiten. Der Schaduf wird bis in die heutige Zeit als einfaches Bewässerungsgerät verwendet."

(aus: Smith, S. 16-19)

"Der Schaduf wurde im Altertum bereits ebenso gehandhabt, wie auch heute noch im Nildelta: Ein zweiarmiger, an seinem hinteren, kürzeren Arm beschwerter Hebel trägt am vorderen Arm das Schöpfgefäß. Die Arbeiter wirken am längeren Hebelarm."

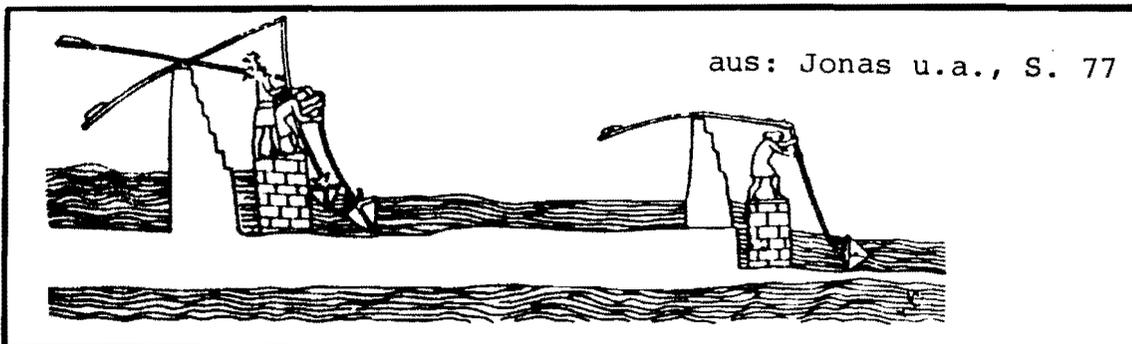
(aus: Neuburger, S. 207)



Schaduf am Nil  
(nach: „Reiseskizzen aus  
Oberägypten“, 1882),  
mit Gegengewichten aus  
erhärtetem Nilschlamm

(aus: Smith, S. 17)

Der Schaduf, einfache Hebelvorrichtung mit beweglich aufgehängtem Gefäß und einem Gegengewicht, erleichtert seit Jahrtausenden das Wasserschöpfen von Hand. Flußwasser kann über Zwischensammelbecken etagenweise bis auf das Niveau der auf dem Hochufer gelegenen Felder emporbefördert werden.



aus: Jonas u. a., S. 77

Diese Abbildung eines Schadufs aus dem 7. Jahrhundert v. Chr. ist einem Relief am Palast zu Ninive entnommen.

Arbeitsaufgaben zum Schaduf:

Versucht, mit den vorhandenen Hilfsmitteln einen Schaduf nachzubauen!

Wie muß eine Hebelstange montiert sein, damit das Heben des wasser-gefüllten Gefäßes ganz leicht ist?

Welche Probleme hat der Arbeiter, um das leere Gefäß wieder zu füllen?

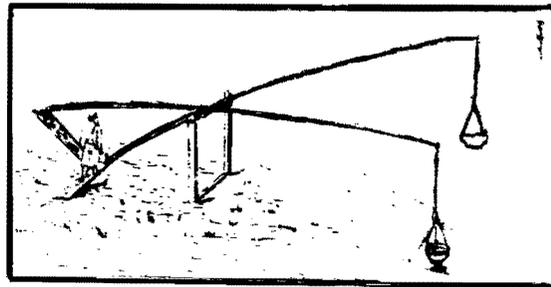
1. Fertigt eine Skizze für Euer Schaduf-Modell an!
2. Wieviel Kraft brauchtest Du zum Heben des gefüllten Wassergefäßes? (Das kannst Du mit einem Kraftmesser messen!)
3. Wieviel Kraft zum Senken des leeren Gefäßes?
4. Überlege, warum die Ägypter und Babylonier den Schaduf nicht so konstruiert haben, daß der leere Eimer ohne Kraftaufwand herunter kam?

evtl. abdecken!

---

Zusatzaufgabe: Das Schöpfwerk

Philon von Byzanz - ein griechischer Erfinder und Ingenieur, der um 230 vor unserer Zeitrechnung lebte - beschreibt ein Schöpfwerk, daß anders funktioniert als ein Schaduf: Bei diesem Schöpfwerk ist am hinteren, gleichfalls kürzeren Hebelarm ein einfaches Brett mit einem Gelenk als Tretvorrichtung befestigt. Dadurch, daß der Arbeiter auf das Brett hinauftritt, hebt sich der gefüllte Eimer.

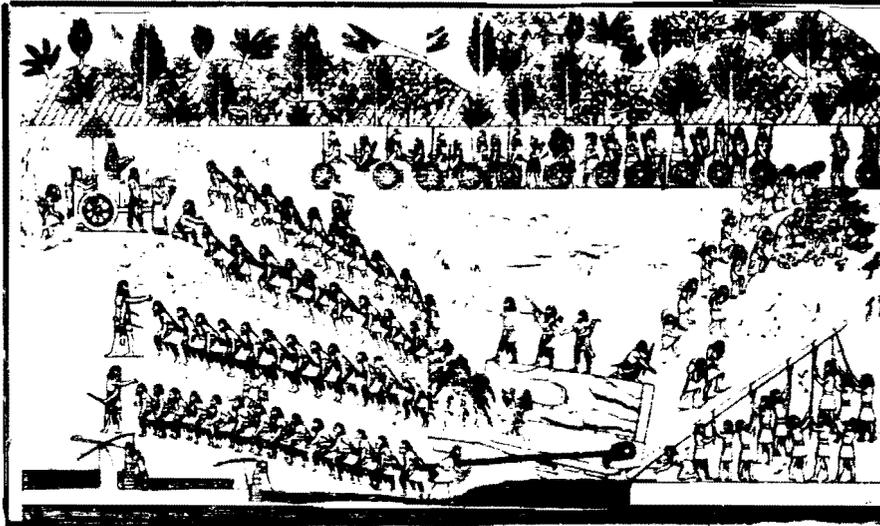


(aus: Neuburger, S. 208)

Versucht, dieses Gerät mit vorhandenen Mitteln nachzubauen.

Hilft der Schaduf den Bauern wirklich?

Transport auf Kufen bei den Assyriern



(Text und Bild aus: Neuburger, S. 214)

"Die auf Kufen gestellte Last wird vorn gezogen, während hinten mittels eines Hebebaums nachgewuchtet wird, dessen unteres Ende auf der einen Seite durch einen dagegegensetzten Klotz am Abgleiten gehindert wird. Unter den Kufen Hölzer, wahrscheinlich Rundhölzer, die vermutlich dazu dienen, die gleitende

Reibung in eine rollende zu verwandeln. Hierfür und für ihre Querlage spricht die Art, wie der Mann das Holz, das er unterlegen will, hält, und die perspektivische Verkürzung des hinter seinem Kopfe liegenden Holzes. Dagegen spricht die Lage der Hölzer dicht vor dem Hebelarm, bei denen jedoch auch Verdrehungen und seitliches Herausgleiten angenommen werden kann."

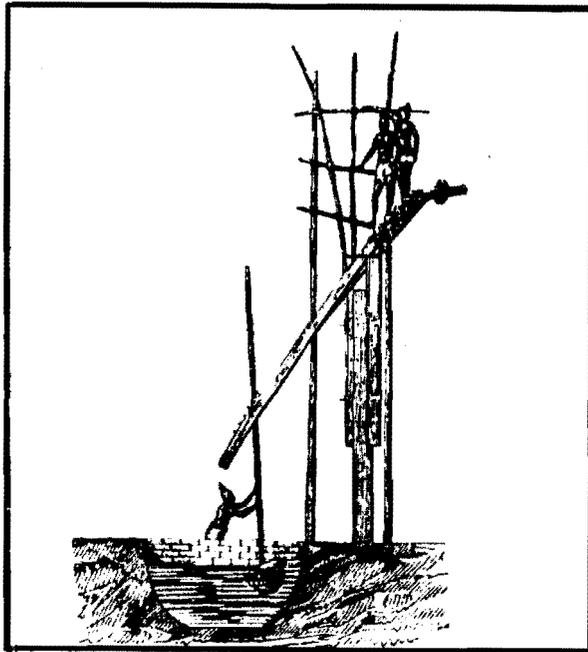
Ihr habt den Schaduf als praktische Maschine zum Bewässern kennengelernt. In diesem Bild seht ihr den Schaduf in einem größeren Zusammenhang: Der Schaduf diente dazu, die Bewässerungsarbeit zu erleichtern und damit Arbeitskräfte für andere Aufgaben freizusetzen.

1. Nimm einmal an, daß der Schaduf nicht erfunden ist und zur Bewässerung der Felder Leute das Wasser mit Eimern schöpfen, diese aufs Feld tragen und dort wieder ausgießen müssen. Wieviele Leute werden Deiner Meinung nach gebraucht, um soviel Wasser zu heben, wie es ein Mann mit einem Schaduf schaffen kann?
2. In dem Bild kannst Du erkennen, was die Bauern machen müssen, die durch den Schaduf (und andere Wasserhebemaßnahmen) nicht mehr ausschließlich in der Bewässerungslandwirtschaft arbeiten müssen.
  - a) Beschreibe, was die Arbeiter, die im Bild zu sehen sind, machen.
  - b) Welche verschiedenen Funktionen üben die Menschen aus, die im Bild zu sehen sind.
3. Besorge Dir Informationen über die Gesellschaftsordnung in den altorientalischen Kulturen am Nil und im Zweistromland (vgl. auch M. 5, S. 44 und M. 6, S. 46).
  - a) Versuche dann die Frage zu beantworten, ob die arbeitssparende Erfindung des Schadufs den Bauern genützt hat?
  - b) Welchem Zweck dient nach Deiner Meinung der Transport?

Die Picota der Inder

Die Picota ist eine alte Wasserhebemaschine aus Indien, die auch heute noch verwendet wird.

- Worin unterscheiden sich die beiden Picotas?
- Versucht zu klären, wie die beiden Picotas funktionieren könnten?
- Was haben die Leute an der Picota zu tun?



(Neuburger: Die Technik des Alterums, S. 208)



Primitiv-Bewässerung in Indien.

(aus: Spiegel Nr. 53, 1979, S. 58)

Arbeitsaufgaben zur Picota

- Versucht, mit den vorhandenen Hilfsmitteln eine Picota nachzubauen!  
Ein schweres Gewicht soll die Leute auf der Treppe verkörpern!
  - Wie muß das Gewicht, das die Arbeiter auf der Treppe darstellt, am Hebelarm verschoben werden, damit der volle Eimer hoch- und der leere Eimer runtergezogen wird?
1. Fertigt zwei Skizzen für Euer Picota-Modell an!
    - a) in dem Moment, wo der leere Eimer nach unten geht;
    - b) in dem Moment, wo der volle Eimer gehoben wird.
  2. Messungen mit dem Kraftmesser und dem Lineal!
    - a) Welche Kraft übt das Gewicht der Arbeiter auf die andere Seite aus, wenn der leere Eimer heruntergelassen wird?  
(Ihr könnt das messen, indem Ihr an der Stelle, wo der Wassereimer hängt, einen Kraftmesser befestigt)  
  
Wie weit ist dann das Gewicht vom Drehpunkt entfernt?
    - b) Welche Kraft übt das Gewicht der Arbeiter auf die andere Seite aus, wenn es den vollen Eimer hochzieht?  
  
Wie weit ist dann das Gewicht vom Drehpunkt entfernt?
  3. Wodurch wird die unterschiedliche Kraft beim Raufziehen und beim Runterziehen bewirkt?
  4. Welche Unterschiede zwischen Picota und Schaduf sind Euch aufgefallen?

evtl. abdecken

-----

Die Picota arbeitet wie der Schaduf nach dem Hebelprinzip, wobei "der kürzere Hebelarm eine kurze Treppe trägt, auf der die Arbeiter halb nieder-, bald emporsteigen, wodurch der Eimer gesenkt bzw. gehoben wird."

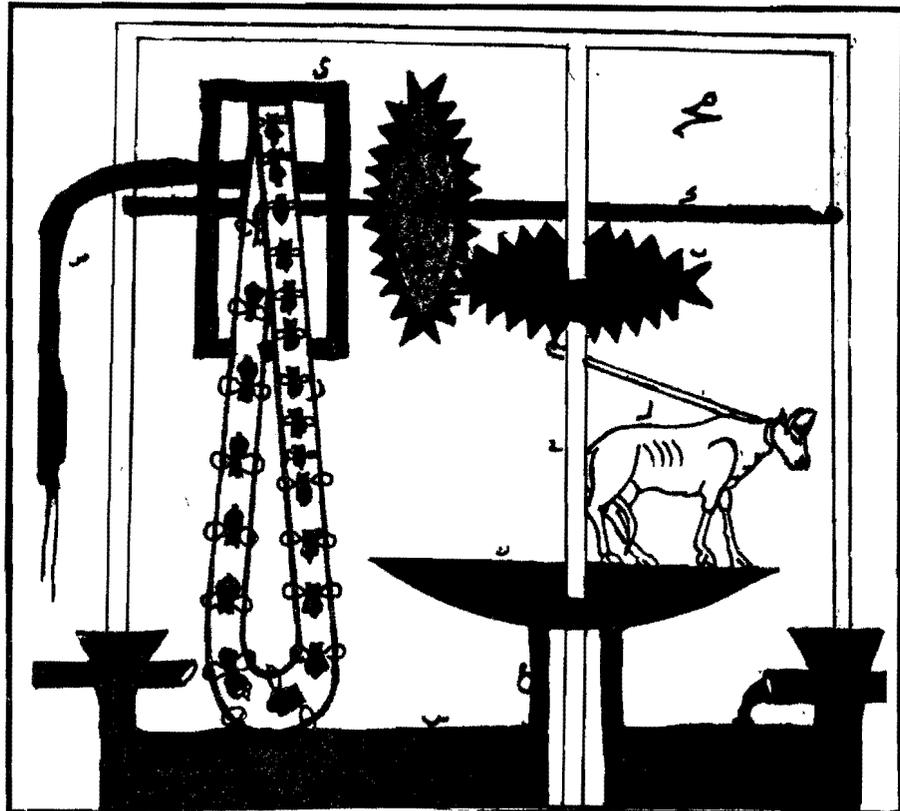
(Neuburger, S. 207 f)

Tierbetriebene Wasserhebemaschine: die Sakia

Wasserhebemaschine mit umlaufender Eimerkette und Tierantrieb

"Das erste Beispiel einer Wasserhebemaschine nach dem Paternoster-Prinzip stammt aus dem Königspalast von Babylon (um 600 v. u.Z.). Darstellungen kennen wir jedoch erst aus arabischen technischen Manuskripten, wie dem Buch des Ibn al-Razzaz-alJazari über technische Erfindungen. In einer 1486 gefertigten Abschrift des 1204 oder 1206 geschriebenen Buches ist dieses Modell abgebildet."

(aus: Sonnemann (Hrsg.), S. 82)

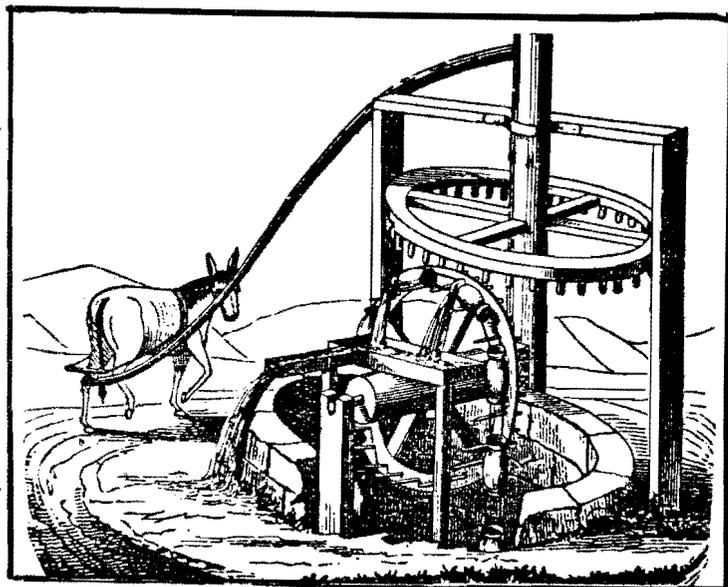


Sakia

Bei der Sakia handelt es sich um ein mit einem Göpel angetriebenes Schöpfrad mit Eimerkette. Diese Sakia unterscheidet sich von der im 1. Bild dargestellten Wasserhebemaschine nur dadurch, daß das Schöpfrad mit der Eimerkette gleichzeitig als Zahnrad vom Göpel direkt angetrieben wird.

Erklärung des Göpelwerkes:

Ein Göpel ist eine Maschine, bei der die Kraft von im Kreise gehenden Tieren oder Menschen mit Hilfe vom Hebel und Winkelgetrieben mit Stirnrädern, die senkrecht aufeinanderstehen, umgewandelt und in ihrer Richtung so geändert wird, daß Lasten gehoben werden können. (Verwandlung der horizontal wirkenden Kraft in



Sakia um 1800 in Südspanien, bei welcher das Stirnzahnrad der Göpelwelle direkt in die Stirnzähne des Topfkettenrades eingreift.

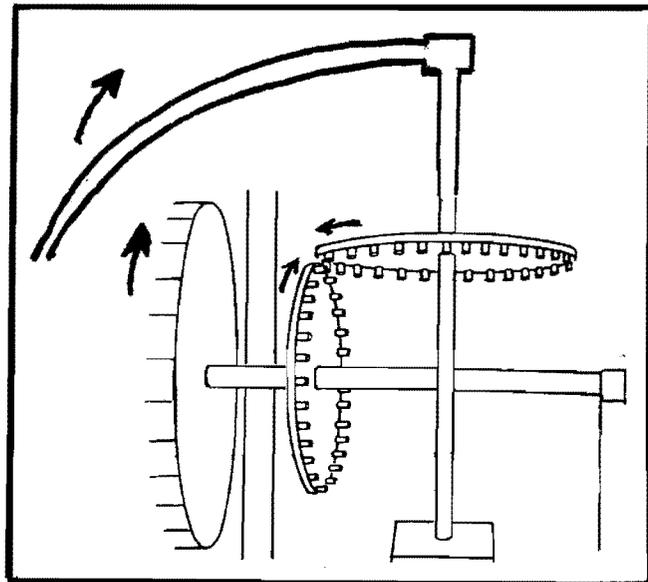
(aus: Smith, S. 33)

eine vertikale bzw. der Drehung um eine vertikale Achse in eine Drehung um eine horizontale Achse).

Versucht mit Texten und Bildern zu tierbetriebenen Wasserhebemaschinen folgende Fragen zu beantworten:

#### Zum oberen Bild

1. Die im Bild gezeigte Wasserhebemaschine stammt aus einem arabischen Manuskript. Kannst Du Dir vorstellen, wie die Maschine funktioniert? Versuche sie zu beschreiben.
2. Zeichne in die Bildquelle die Drehrichtung des Rindes, des ersten und des zweiten Zahnrades und der Eimerkette ein.
3. Die Maschine arbeitet nach dem Prinzip des Göpelwerkes, das in der nebenstehenden Skizze dargestellt ist. Wie arbeitet ein Göpelwerk? Beschreibe die Teile, aus denen es besteht.
4. Zeichne ein, wo das Wasser geschöpft wird und wo es ausgegossen wird; könntest Du eine solche Wasserhebemaschine übersichtlicher zeichnen?
5. Baue mit der Fischertechnik oder selbstgemachten Zahnrädern eine solche Wasserhebemaschine mit Göpelprinzip.



Göpel-Getriebe mit Hebel und verzahnten Rädern.

#### Zum zweiten Bild

1. Welche Unterschiede zwischen beiden Bildern fallen Dir auf?
2. Welche Maschine kann nach Deiner Schätzung besser Wasser heben?
3. Vergleiche die Maschine mit der "Noria" (M. 9, S. 49).
4. Was muß beim Anbringen der Becher und der Abflußrinne beachtet werden?

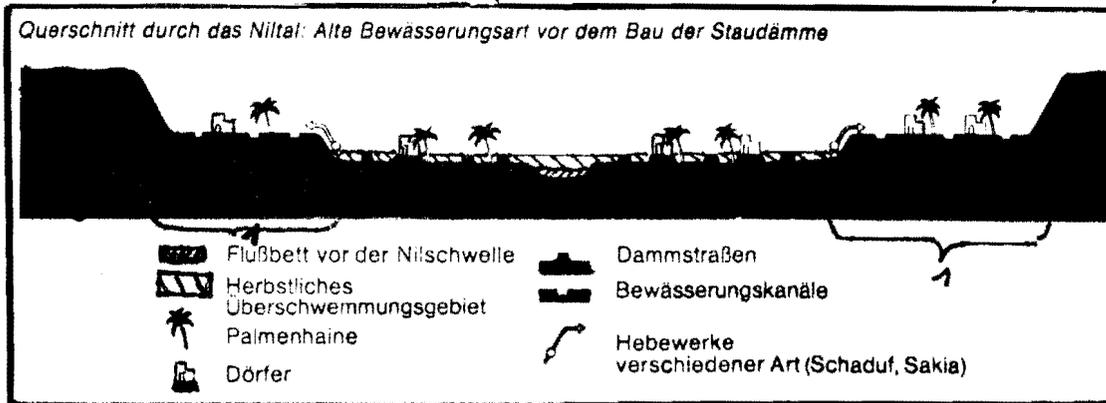
Warum brauchten die Ägypter (und die Babylonier)  
Wasserhebemaschinen?

M 6

"Jahrtausendlang überschwemmte der Nil die Felder in Ägypten. Nur die Fellachendörfer mit ihren Palmenhainen und die Straßen auf schmalen Dämmen ragten aus der weiten braunen Lehmflut heraus. Im Überschwemmungsbereich legten die Fellachen kleine rechteckige Becken an, die von niedrigen Erddämmen umgeben waren. Hier sammelte sich das trübe Wasser. Fruchtbarer Schlamm setzte sich ab, in den man das Getreide einsäte.

Seit uralten Zeiten wurde das Wasser aus dem Nil und seinem Überschwemmungsgebiet auf das höhere Land gehoben. Den ganzen Tag arbeiteten die Fellachen an dem hohen Ziehbrunnen, dem Schaduf, mit dem das Wasser um etwa 2 m gehoben werden kann. Rinder, Büffel und Kamele drehten Tag und Nacht ihre Runden, um knarrende hölzerne Wasserräder zu bewegen (Sakia). Diese hoben aneinandergereihte Tonkrüge oder Eimer wie bei einem Bagger bis zu 10 m empor. So ist Ägypten ein Geschenk des Nils, eine Stromoase in der größten Wüste der Erde."

(aus: "Dreimal um die Erde", Band 1, S. 58+59)



Dies schreibt ein Professor für Technikgeschichte zu den Wasserhebegeräten

"Arbeitsvereinfachung und höchste Landnutzung steigerten die Produktivität der Landwirtschaft. Schwenkbare Hebelvorrichtungen hoben das Wasser auch für die Felder, die über dem Flußniveau lagen. Mit der Konstruktion von Schöpfrädern wurde ein weiterer Schritt getan. Die Anwendung von gezahnten Rädern schuf die Erfindung des Göpelwerkes, bei dem die vertikale Drehbewegung in eine horizontale übersetzt wird. Nun konnte die schwere Arbeit des Wasserschöpfens von Tieren getan werden; der Bauer sparte Zeit für anderes. Die Tiere antreiben, das vermochten auch die Kinder und schwächeren Frauen."

(Klemm 79, S. 41)

Zusatzfragen - Arbeitsaufgaben:

In diesem Text steht, daß durch solche Maßnahmen der Bauer "Zeit für anderes sparte."

1. Überlegt einmal, für welche Arbeiten die Bauern nun "Zeit sparten." Durften sie sich das aussuchen?  
(Betrachtet dazu bitte die Bilder vom Pyramidenbau in Ägypten und vom Palastbau bei den Assyrern und die Textstellen (S. 51 ff).
2. Wer war nach Eurer Meinung Nutznießer der arbeitssparenden Wasserhebemaschine?

Was hat die Bewässerungswirtschaft (mit Schaduf und Sakia) mit dem Pyramidenbau oder dem Palast des Sanherib zu tun?

"In den Trockengebieten des Alten Orients wurden - entsprechend den unterschiedlichen natürlichen Bedingungen - verschiedenartige Systeme der Bewässerung entwickelt.

Die Ausführung und systematische Unterhaltung solcher ausgedehnten Bewässerungsanlagen konnten nicht von einem einzelnen Menschen und auch nicht von kleineren Gruppen bewältigt werden. Die Notwendigkeit der künstlichen Bewässerung zwang die Menschen, sich in größeren, gut organisierten Gemeinschaften zusammenzuschließen. Aus diesen Gründen entwickelten sich dann seit dem 5. Jahrtausend v.u.Z. die ersten großen Staaten. Eine verhältnismäßig kleine Schicht gebildeter Spezialisten - vorwiegend Priester -, die die Konstruktion, Unterhaltung und Leitung des Bewässerungssystems beherrschten, gewannen außerordentliche Macht. In ihrer Hand lag die Verfügungsgewalt über den Lebensnerv des ganzen Gebietes." "Zweifellos trug in den Trockengebieten die Notwendigkeit der zentralen Leitung und Regulierung der Bewässerungssysteme dazu bei, daß in diesem Landstrichen die auf eine starke despotische Zentralgewalt sich stützende asiatische Produktionsweise besonders lange erhalten blieb."

Die "asiatische Produktionsweise"

"Die asiatische Produktionsweise war dadurch gekennzeichnet, daß der in Dorfgemeinschaften organisierte Bauer von einem Despoten ausgebeutet wurde. Der Bauer selbst hatte Besitzrechte am Boden, während der Herrscher gewissermaßen ein Obereigentümer des Bodens war und das Mehrprodukt in Form von Tribut und Arbeitsleistung eintrieb."

Der Masseneinsatz von Arbeitern als Produktivkraft:

"Die Errichtung all der gewaltigen Bauwerke des Altertums (wie die Pyramiden in Ägypten) war nur möglich durch die Herausbildung dieser neuen Produktivkraft - Massenkraft.

Einige Grundbedingungen waren Voraussetzung für die Entstehung dieser neuen Produktivkraft:

1. Das gesellschaftliche Mehrprodukt mußte so weit angewachsen sein, daß wochen-, monate- oder gar jahrelang Tausende von Arbeitskräften von der unmittelbaren Produktion der Lebensmittel freigestellt werden konnten.
2. Es mußte eine starke Zentralgewalt vorhanden sein, die über die Macht verfügte, beträchtliche Teile der Bevölkerung, Bauern und Handwerker, zu organisierten kooperierten Arbeit zu zwingen.
3. Man mußte die Grundgesetze der Mechanik und der Geometrie kennen und ihre Anwendung beherrschen.

War das Vorhandensein einer Zentralgewalt einerseits Voraussetzung für den Bau der Pyramiden, so waren diese Bauwerke andererseits selbst wieder Ausdruck und Symbol dieser zentralen Macht."

(Texte aus: Jonas u.a., S. 76, 84 und 86)

Sklavenbetriebene Trettrommel mit Schöpfeimerkette

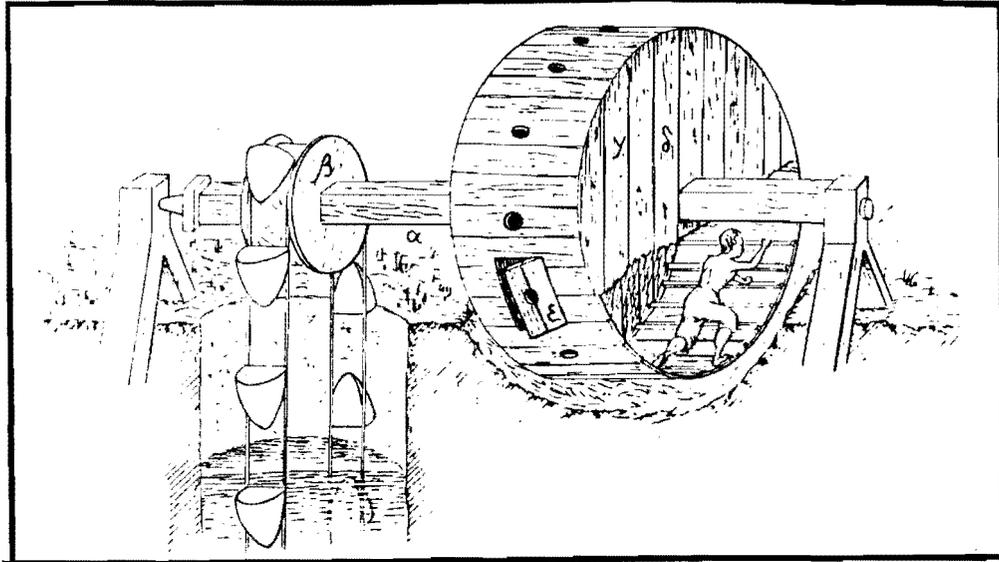


Abb. 1

(aus Varchmin, S. 4)

Eine Trettrommel durch Laufen in Bewegung zu halten, war typische Sklavenarbeit. Durch eine kleine Tür schlüpfte der Sklave in das Innere der Trommel, die in der Zeichnung aufgeschnitten ist, so daß man hineinschauen kann. Durch Laufen auf der Stelle wurde die Trommel zum Drehen gebracht. Schwellen hielten dabei, den Schwung der Füße auf die Trommel zu übertragen. Mehr als ein, zwei Stunden konnte diese Arbeit sicherlich nicht durchgehalten werden, da eine ununterbrochene Kette von Schöpfeimern, mit Wasser gefüllt, gehoben werden mußte. Es konnten damit zum Beispiel Felder bewässert oder eine Trinkwasserleitung mit Wasser versorgt werden. In der Zeichnung ist der Zweck offengelassen. Ähnliche Geräte haben sich z. B. in Afrika oder Asien bis in unsere Zeit erhalten. (Zeichnung nach Philon von Byzanz, 3. Jahrh. v. Chr.)

Sklaverei im antiken Griechenland und im römischen Reich

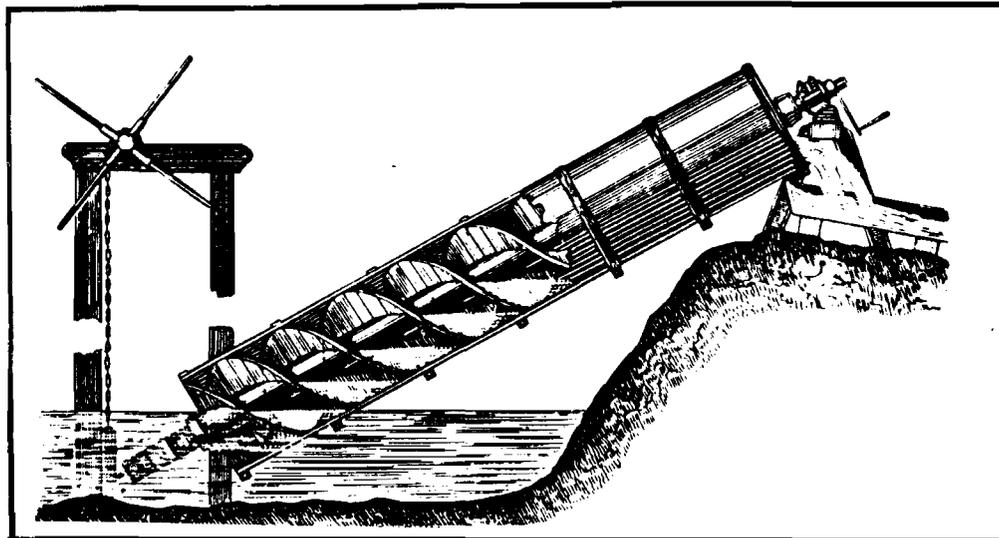
"In Griechenland wurden etwa seit dem 7. oder 6. vorchristlichen Jahrhundert Kriegsgefangene versklavt und zu Arbeiten des täglichen Lebens herangezogen (s. z.B. Abb. 1). Die griechische Demokratie gestand den Sklaven nahezu keine Rechte zu. Auch in den folgenden Jahrhunderten ist der Stand dadurch bestimmt, daß sie im allgemeinen der persönlichen Gerichtsbarkeit ihres Herrn unterstanden, dem sie auf Gedeih und Verderb ausgeliefert waren. Somit waren die Lebensbedingungen der Sklaven sehr unterschiedlich und hingen ganz von den Zugeständnissen des jeweiligen Herrn ab. Zeugnisse belegen, daß die Bergwerkssklaven in Laurion sehr harte Bedingungen erdulden mußten. Zum Teil angekettet, hatten sie ihre schwere Arbeit unter Tage zu verrichten. In den Blütezeiten Griechenlands arbeiteten bis zu 30 000 Sklaven in den Silberbergwerken von Laurion und legten so den Grundstein des Reichtums der Bürger von Athen. Diese blickten mit Verachtung auf die Handarbeit, die Kennzeichen der Sklaverei war.

Ihre Philosophen - Platon etwa - meinten, ein Staat sei dann vollkommen, wenn in ihm jeder Bürger gleich viele Sklaven besitze. Ein Sklave war für sie eine Art beseelten Besitztums, jederzeit verfügbar, wie irgendein anderes technisches Gerät (Aristoteles).

Es kann daher mit Recht behauptet werden, daß Sklaven das griechische und ebenso das römische Reich prägten. Rom hatte z.B. um die Zeitenwende zusammen mit der Hafenstadt Ostia nahezu eine Million Einwohner, wovon ein Drittel Sklaven waren (Vogt 1972).

Sklaven haben auch den größten Teil der großartigen technischen Leistungen -man denke etwa an den Bau der Aquädukte- vollbracht."

(aus Varchmin, S. 4)



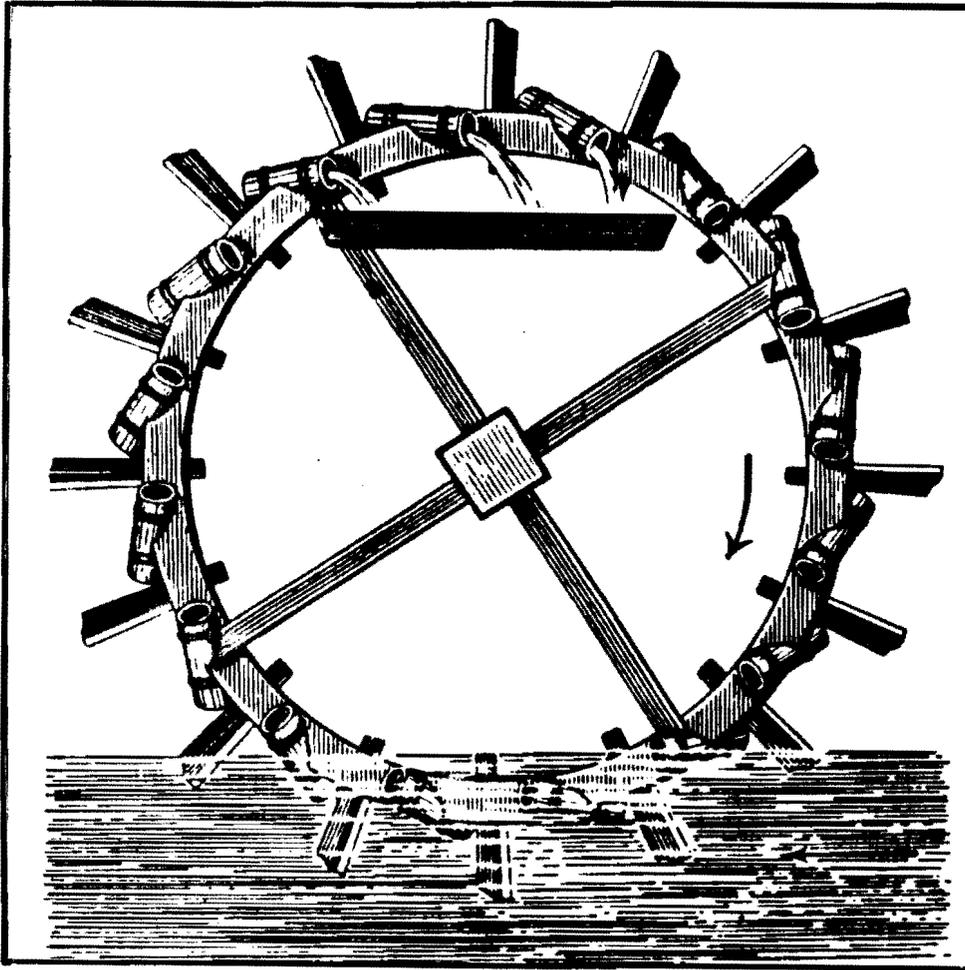
*Archimedische Schraube (Prinzipskizze). Ein Schneckenrad als Wasserhebewerk vermag in verhältnismäßig kurzer Zeit gleichmäßig Wasser zu fördern beziehungsweise zu heben.*

(aus: Jonas u.a., S. 122)

Die archimedische Schraube wird einer Erfindung Archimedes zugeschrieben. Bewiesen ist aber nur, daß Archimedes um 250 v.Chr. die Schraube in Ägypten kennengelernt hat, wo sie (wie der Schaduf oder die Sakia) zur Bewässerung höhergelegener Felder eingesetzt wurde. Die Schraube oder Wasserschnecke wurde von Arbeitern oder Sklaven mit Kurbeln angetrieben oder über Göpel von Tieren bewegt. Seit dem 14. Jahrhundert nach Christus wurde die archimedische Schraube häufig eingesetzt, auch in unserer Gegend, wo sie auch zum Entwässern von Gräben verwendet wurde. In den Niederlanden verband man seit dem 15. Jahrhundert die Windmühlen mit archimedischen Schrauben und setzte sie zur Entwässerung ein.

Fragen:

1. Wie wird die im 1. Bild zu sehende archimedische Schraube angetrieben?
2. Wie funktioniert eigentlich die archimedische Schraube - oder warum fließt das Wasser nicht einfach unten wieder raus?
3. Vergleiche die archimedische Schraube mit einem Fleischwolf.
4. Welches Problem entsteht, wenn Du eine archimedische Schraube (wie die Sakia) mit Tieren betreiben willst. Mache eine Zeichnung oder ein Funktionsmodell von Deiner Lösung.



aus Jonas u.a., S. 77

"Die wohl geistreichste Anwendung des ex-aquat Rades erfolgte, als man an seiner äußeren Peripherie Eimer anbrachte, die so montiert waren, daß sie am höchsten Punkt des Rades ihren Inhalt in einen künstlichen Wasserlauf ergossen. Das ergab eine völlig automatische Vorrichtung, um Wasser bei der Bewässerung in große Höhen zu transportieren. Im Westen nennt man diese Vorrichtung normalerweise "Noria".

(J. Needham, S. 103)

\*Ex-aquat heißt bei Needham ein Wasserrad, "wenn die Energie aus dem fließenden Wasser bezogen wird."

(J. Needham, S. 102)

Noria: "Eine noch heute in Syrien und im Nordirak benutzte Technik, die Höhenunterschiede zwischen dem Wasserspiegel des Flusses und dem umliegenden Land zu überwinden, ist das Einhängen von Schöpfrädern in den Strom, der sie antreibt, so daß die Räder ohne Unterlaß und ohne zusätzlichen Energieaufwand Wasser schöpfen heben und über Kanäle ablaufen lassen. Die älteste Wiedergabe einer solchen Noria ist auf einem Mosaik des 2. Jh. in Apamea, Syrien entdeckt worden. Die Araber brachten die Noria bis nach Syrien und Nordwestafrika." Die Räder können bis zu 40 m Durchmesser haben.

(Sonnemann (Hrsg.), S. 81)

Fragen:

1. Wo kommt die Antriebskraft für die Noria her?
2. An welchen Gewässern kann man die Noria nur einsetzen?

## 2. Transportieren und Heben von Lasten

In den altorientalischen Despotien war der Schwertransport kein Erfordernis gesellschaftlicher Produktion. Vielmehr diente er als symbolischer Ausdruck der zentralen Macht der Gottkönige. Die Verwendung mechanischer Hilfsmittel beim Transport und bei den Großbauwerken -wie von Rolle, Keil, schiefer Ebene, Hebel- ist gegenüber der Produktivkraft der organisierten Massen, die für diese Transporte viel wesentlicher ist (vgl. S. 7 f), eher sekundär.

### Medienhinweis:

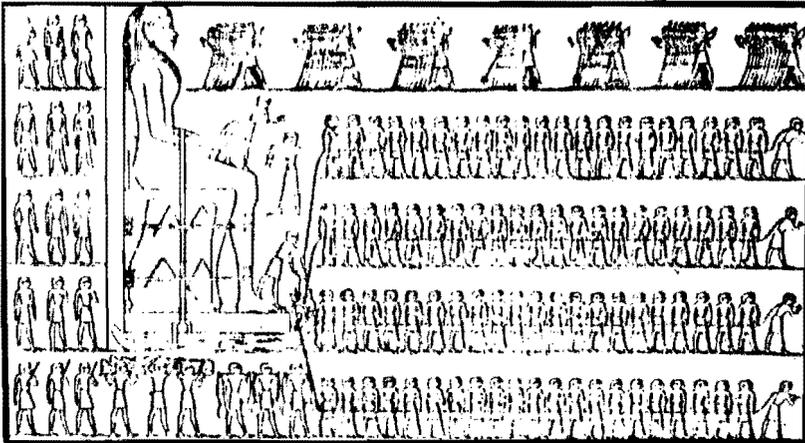
Zur weiteren Behandlung Alt-Ägyptens kann man folgende Schwarzweiß-Diaserien heranziehen:

Ägypten I	Best.-Nr.	10 0215
Ägypten II	Best.-Nr.	10 0216

Im klassischen Altertum finden sich bei Bauten und Schwertransporten Kräne mit von Sklaven betriebenen Laufrädern bzw. Trettrommeln. Als zusätzliche mechanische Erfindung kommt der Flaschenzug in Anwendung.

Die Versetzung eines Obelisken auf dem Petersplatz um 1586 wird von Zeitgenossen als große Ingenieurstat gewürdigt. Sie ist aber letztlich auch nur Beleg für die Leistungsfähigkeit des Altertums, in dem ja der Obelisk von Ägypten -wo er auch schon durch organisierte Massen gefertigt, transportiert und aufgerichtet worden war- nach Rom transportiert und dort aufgestellt wurde. Neu an der Versetzung des Obelisken war nicht die koordinierte Massenerleistung von 140 Pferden und Arbeitern (vgl. Jonas u.a., S. 228), sondern allenfalls die Verwendung von 40 Göpeln in Verbindung mit Flaschenzügen.

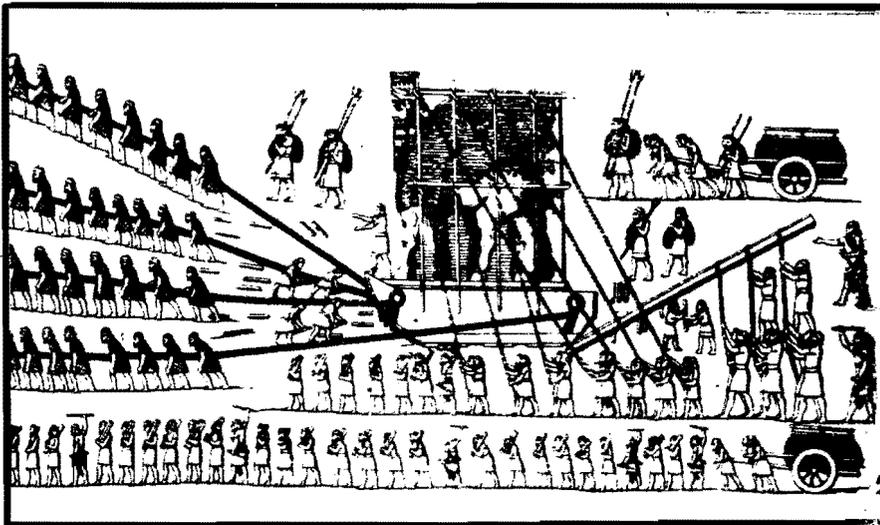
Bis zum Beginn der Neuzeit finden beim Transportieren und Heben von Lasten keine grundsätzlichen technischen Innovationen mehr statt. Das Bauhandwerk des 16. Jahrhunderts verwendet z.B. Umlenkrollen, Wellräder und Seilgetriebe, die im wesentlichen auch schon im Altertum bekannt waren. Der zunehmende Handel zum Beginn der Neuzeit und insbesondere die Vergrößerung der Schiffe führte zur Konstruktion leistungsfähigerer Kräne (mechanisch direkt als Wellräder oder mit Getrieben) mit Laufrädern, oder mit Schraubengewinden arbeiteten. Da die Bauorte bzw. die Umschlagsorte und -zeiten sich nicht nach möglicherweise vorhandenen Energiequellen richteten (Wasser, Wind), fand beim Lastenumschlag fast nur die Muskelkraft von Mensch und Tier Verwendung.



(aus: Klemm, S. 16 a)

Fronarbeit in Alt-Ägypten

Transport eines auf Kufen gestellten, 7 m hohen Alabasterkolosses durch 172 Sklaven. Relief aus El Bersheh (Ägypten). Mittleres Reich, 11./12. Dynastie, um 2000 v. Chr.



(aus: Neuburger, S. 214)

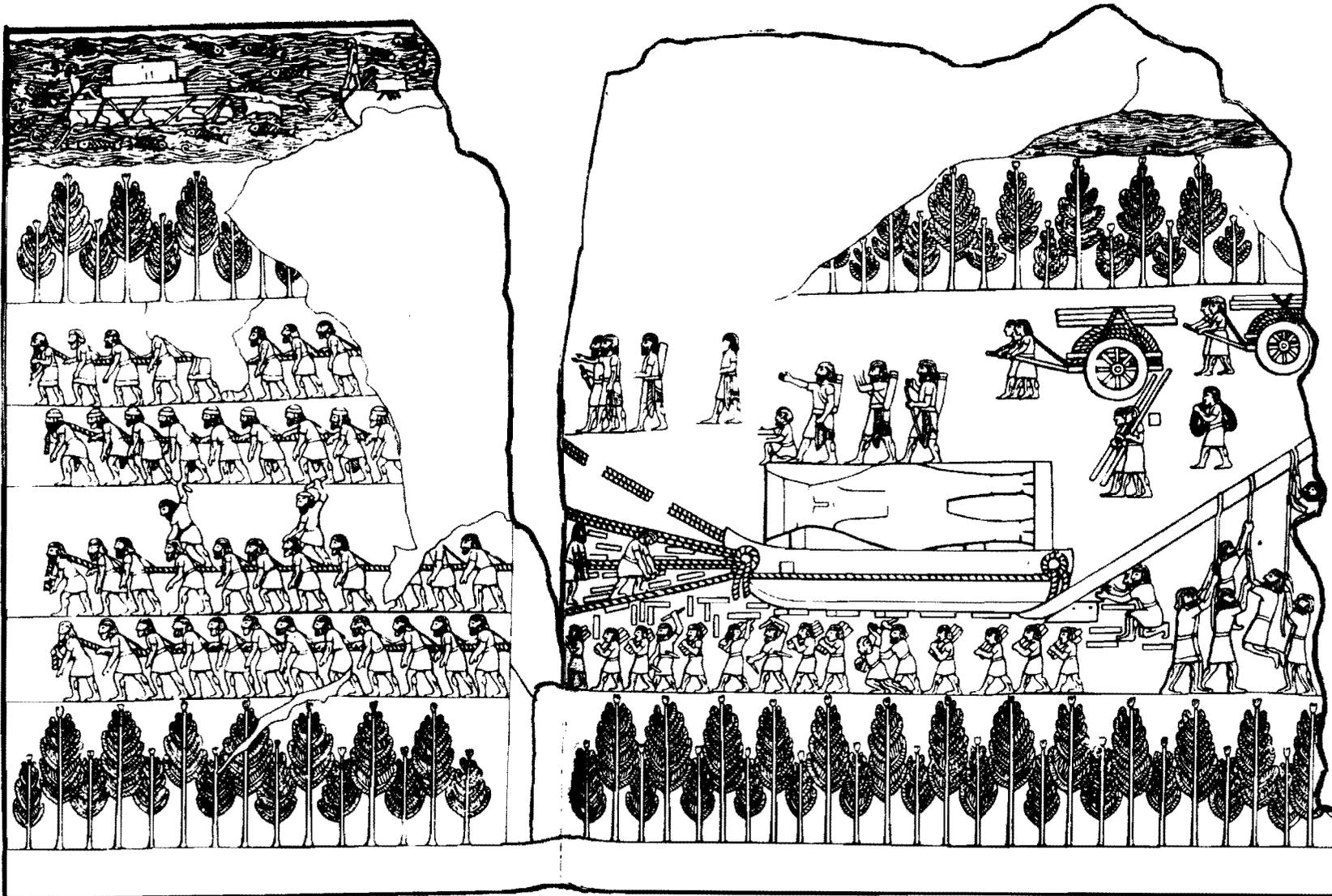
Transport eines auf Kufen gestellten Riesen-Bildwerkes bei den Assyern.

Hinten Hebebaum, vor, hinter und unter den Kufen Hölzer (Rundhölzer), teils in Längs-, teils in Querlage.

Vergleiche die beiden Bilder:

1. Welche Unterschiede fallen Dir auf?
2. Was ist eigentlich in beiden Bildern gleich?
3. Welche mechanischen Hilfsmittel werden im 1. Bild verwendet, welche im 2. Bild?
4. Das erste Bild stammt etwa aus der Zeit 2000 vor Christus, das zweite aus der Zeit 700 vor Christus. Haben die technischen Hilfsmittel, die in diesem Zeitraum stärker benutzt werden, den Arbeitern geholfen?

Schwertransport durch Fronarbeit



(aus: Jonas u.a., S. 96)

Transport einer Torsteherfigur zum Palast des Sanherib, Mesopotamien, um 700 v.u.Z. Mit Schleife\* und Hebel wird die Figur durch Einsatz vieler Menschen bewegt. Befehle für die Menschenmassen ergehen akustisch und optisch durch Aufseher auf und neben der Figur. Besondere Träger sind mit Ersatzteilen, Geräten und Seilen beladen. Oben li. im Bild (als Illustration wirkend) beladen Schwimmer Pontons, d.h. Flöße, die auf aufgeblasenen Fellsäcken befestigt sind. Delphine umspielen Floß und Schwimmer.

\* mit Schleife ist der Kufenschlitten gemeint.

Arbeitsbogen zum Schwertransport durch Fronarbeit

Aufgabe: Versucht mit möglichst wenig Kraft einen Ziegelstein mit vergleichbaren Mitteln -wie in der Bildquelle- auf einer rauhen Unterlage zu bewegen! Verwende Hilfsmittel, die im Bild zu sehen sind.

- Fragen: 1. Wie wird der Block vorwärts bewegt?  
2. Versucht, Funktionen des Hebels im Bild zu erklären. (Beachtet auch die zwei Mann am Keil!)  
3. Wozu werden unter den Schlitten Hölzer untergelegt, und welche Form haben die Hölzer nach Eurer Meinung?

Messungen:

- 1) Meßt die Kraft mit dem Kraftmesser, die Ihr zum in Bewegung Setzen des Ziegelsteins braucht.

Hinweis: Ihr müßt den Kraftmesser ablesen, wenn sich der Stein gerade in Bewegung zu setzen beginnt.

Messungen: Stein auf rauher Unterlage .....  
Stein auf Gleitplättchen .....  
Stein auf Rollen .....  
Stein auf folgender selbst-  
ausgedachten Unterlage ,.....

- 2) Meßt die Kraft mit dem Kraftmesser, die ihr zu gleichmäßigen Fortbewegung des Ziegelsteins braucht. (Ihr müßt hierbei den Kraftmesser ablesen, wenn sich der Stein möglichst gleichmäßig bewegt).

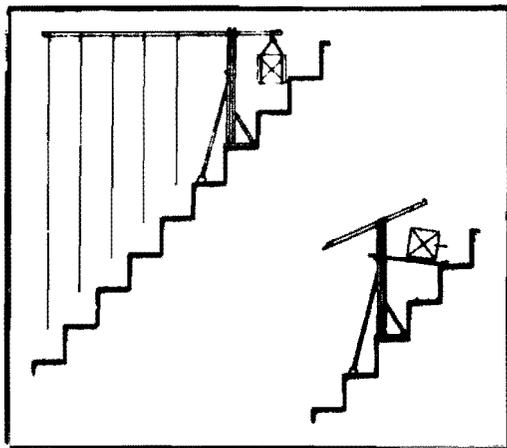
Messungen: Stein auf rauher Unterlage .....  
Stein auf Gleitplättchen .....  
Stein auf Rollen .....  
Stein auf folgender selbst-  
ausgedachten Unterlage .....

- 3) Wozu braucht man mehr Kraft? Zum in Bewegung Setzen, oder in Bewegung Halten des Klotzes? (Laßt euch vom Lehrer Haft- und Gleitreibung erklären).
- 4) Setzt zum in Bewegung Setzen des Steins auch einen Hebel an.  
a) Macht mit einem Kraftmesser Messungen der Kraft, die ihr braucht, um den Stein anzuheben .....  
ihn in Bewegung zu setzen .....
- b) Macht Messungen mit mehreren Hebellängen.....
- 5) Setzt den Hebel mit einem Keil an den Stein an und setzt ihn direkt am Keil an.  
a) Welche Unterschiede ergeben sich?  
b) Wohin müssen die jeweiligen Kraftmesser am Hebel gezogen werden? (Macht eine Skizze)

Der Bau der Cheopspyramide (aus H. Christmann, S. 17 ff)

"Nach Herodot waren 100 000 Arbeiter zwanzig Jahre lang allein mit dem Bau beschäftigt, dessen Kosten auf 870 Millionen Mark berechnet worden sind. Die einzigen Hilfsmittel, die dabei Verwendung fanden, waren Hebel, Keile, Schlittenkufen, Rollen und die schiefe Ebene, alles andere machte dabei die Menschenkraft. Das benötigte Felsgestein wurde 30 km entfernt auf dem anderen Nilufer im Mokattamgebirge mittels des ungemein schwierigen und zeitraubenden Naßkeilverfahrens gewonnen. Der einzelne Block wurde dabei durch Einmeißeln tiefer Kanäle nach allen Seiten freigelegt und dann von seiner Unterseite losgesprengt, indem man in zahlreiche, in Abständen von 20 Zentimetern mit der Hand gebohrte Löcher trockene Holzkeile eintrieb und mit Wasser begoß, bis sie aufquollen und dadurch den Block von seiner Unterlage abhoben. Auf diese Weise wurden nicht weniger als 2,5 Millionen Blöcke von je 1,6 m im Geviert und 50 Zentner Gewicht gebrochen, an Ort und Stelle zugerichtet, auf Schiffe verladen und nach dem Landungsplatz verfrachtet, um schließlich auf kilometerlangen, in zehnjähriger Arbeit aufgeführten Rampen an die hoch über dem Nil in der oberen Wüste gelegene Baustelle geschafft und in 210 Schichten zur Pyramide aufgetürmt zu werden. Beim Transport dieser gewaltigen Steinmassen war man nur auf hölzerne Schlittenkufen und untergelegte Walzen sowie auf die Zugkraft ungezählter Menschenarme angewiesen. Wollte man diese Steinmassen mit einem modernen Güterzug befördern, würde man dazu 200 000 Güterwagen von je 20 t Tragkraft benötigen.

Abb. 1. (aus Christmann, S. 18)



Herodot berichtet, Cheops hätte "alle Tempel verschlossen und sie vom Opfer abgehalten; sodann hätte er befohlen, daß alle Ägypter ihm Frondienst leisteten. Und einige hätte er angestellt, daß sie aus den Steinbrüchen im arabischen Gebirge Steine zögen bis an den Nilos, und wenn die Steine auf Fahrzeugen über den Fluß gesetzt waren, so stellte er andere an, die sie von da bis an das libysche Gebirge ziehen mußten. Und es arbeiteten je zehnmal zehntausend Mann drei Monde hindurch. Und es dauerte, da das Volk also bedrückt war, zehn Jahr, daß sie bauten den Weg, darauf sie die Steine zogen, ein nicht geringeres Stück Arbeit, meines Bedünkens,

als die Pyramide selbst; denn seine Länge beträgt fünf Stadien und seine Breite zehn Klafter und seine Höhe, da wo er am höchsten ist, acht Klafter, und ist von geglättetem Stein und Bilder darein gegraben. Also darüber vergingen zehn Jahr und über dem Hügel, darauf die Pyramiden stehen, und über den unterirdischen Zimmern, die er sich baute zu seinem Begräbnis auf einer Insel, denn er leitete einen Graben des Nilos hinein. Aber zwanzig Jahr wurde

gearbeitet an der Pyramide selbst, deren jegliche Seite ist acht Plethra breit und ist vierseitig, und die Höhe ebenso viel, und ist von geglättetem Stein, sehr gut ineinander gefügt, und kein Stein ist kleiner als dreißig Fuß. Und dieselbe Pyramide ist gebaut worden wie eine Treppe mit lauter Stufen oder Tritten oder Absätzen. Und nachdem sie den ersten Absatz gemacht, hoben sie die übrigen Steine hinauf auf einem Gerüst von kurzen Stangen. Von der Erde also hoben sie auf der Stufen ersten Absatz, und wenn der Stein oben war, legten sie ihn auf ein anderes Gerüst, das da stand auf dem ersten Absatz, und von diesem wurde er gewunden auf den zweiten Absatz auf einem anderen Gerüst, denn so viel Absätze von Stufen waren, so viel Gerüste waren auch. Oder auch, sie hatten nur ein Gerüst, und weil es leicht zu heben war, so nahmen sie es mit auf einen jeglichen Absatz, sobald sie den Stein abgenommen (Abb.1). Ich erzähle es auf beide Arten, wie man mir es erzählt hat. Vollendet ward nun das oberste zuerst; sodann vollendeten sie, was darauf folgte, zuletzt aber vollendeten sie das, was an der Erde und ganz unten war. Es ist auch angegeben mit ägyptischen Buchstaben an der Pyramide, was die Arbeiter an Rettigen und Zwiebeln und Knoblauch verzehrt, und es wurden dafür (wie ich mich noch recht wohl erinnere, was mir der Dolmetscher sagte, der die Buchstaben las) sechzehntausend Silber-Talente bezahlt. Wenn das wahr ist, was muß nun nicht noch darauf gegangen sein für Eisen zum Arbeitszeuge und für Speise und Kleidung an die Arbeiter, wenn sie nämlich bauten an den Werken die besagte Zeit, außerdem aber noch eine nicht geringe Zeit, da sie die Steine hieben und fortbrachten und den Graben unter der Erde arbeiteten."

### Drei Theorien, wie die Pyramiden gebaut sein könnten

Niemand weiß, wie nun die Pyramiden tatsächlich gebaut worden sind.

- 1) Für welche der drei Hypothesen würdest Du Dich entscheiden?  
(Begründe, warum)
- 2) Baut mit Ziegelsteinen auf die drei gezeigten Arten Pyramiden und macht dabei Kraftmessungen.

Abb. 1) siehe S. 55, vgl. den Text der vorigen Seite

Abb. 2) Schiefe Ebene

Abb. 3) siehe S. 57, Hebel und Schlitten auf schiefer Ebene

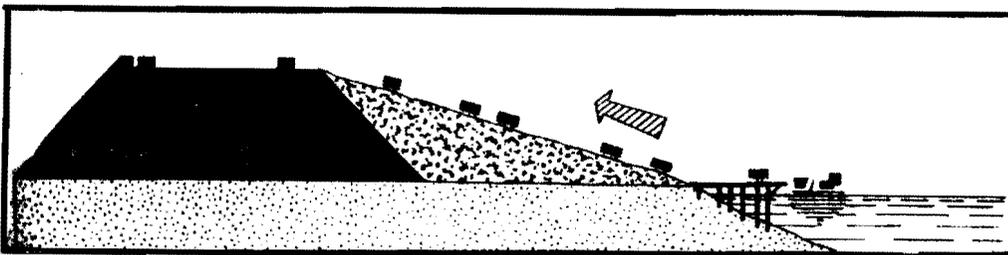
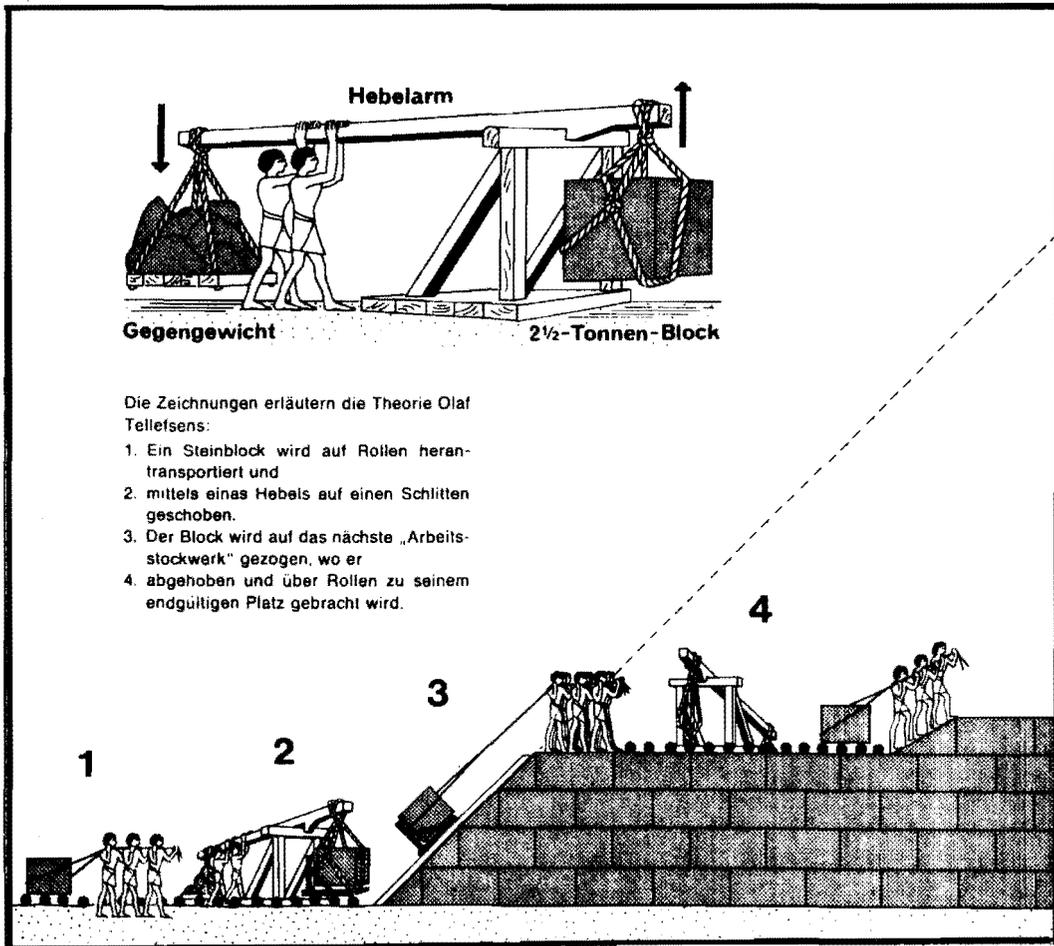


Abb.:2. (aus Jonas u.a.,  
S. 86



Die Zeichnungen erläutern die Theorie Olaf Tellefsens:

1. Ein Steinblock wird auf Rollen herant transportiert und
2. mittels eines Hebels auf einen Schlitten geschoben.
3. Der Block wird auf das nächste „Arbeitsstockwerk“ gezogen, wo er
4. abgehoben und über Rollen zu seinem endgültigen Platz gebracht wird.

Abb. 3. (aus Christmann, S. 18)

Wenn sich alle Kräfte vereinigen

"Am 5. Oktober 1585 erteilte Papst Sixtus V. dem Ingenieur und Architekten Domenico Fontana den Auftrag, den Obelisk von dem Platz hinter der Peterskirche nach der Piazza San Pietro zu versetzen. Die Lösung dieser Aufgabe erfolgte nicht durch die Anwendung eines neuen technischen Prinzips, sondern lediglich durch die meisterhafte Organisation und Leitung massenhaft eingesetzter und kooperiert arbeitender Kräfte. Fontana schrieb in seinem Bericht:

Die Feststellung des Gewichtes des Obelisk

"Ehe ich mich zu dem Unternehmen des Transportes anschickte, wollte ich mich vergewissern, wieviel der (23 m hohe) Obelisk wiegt. Ich ließ ein palmo (21,7 cm) von derselben Steinart würfelförmig behauen und fand, daß dieser Würfel 86 Pfund wog .....

Ich ermittelte, daß besagter Obelisk auf ein Gewicht von 963 537  $\frac{35}{48}$  Pfund kommt (= 327 t)....

Ich überlegte nun, daß ein Göpel mit guten Seilen und Flaschenzügen etwa 20 000 Pfund hebt und daß daher 40 'Göpel 800 000 Pfund heben würden. Für den Rest (von 163 537 Pfund) dachte ich fünf Hebel aus starken Balken anzuwenden, jeder 13 m lang, so daß ich nicht nur genug Kraft, sondern Überschub hätte... "

Die Zweifel der Sachverständigen:

"Als meine Erfindung an die Öffentlichkeit kam, zeigte sich, daß fast alle Sachverständigen bezweifelten, daß man so viele Göpel so in Übereinstimmung bringen könnte, daß sie mit vereinter Kraft wirken, um ein so großes Gewicht zu heben. Sie sagten, die Göpel könnten nicht gleichmäßig anziehen, der am stärksten angezogene Göpel müsse zerbrechen und dadurch Verwirrung entstehen, die die ganze Maschinerie in Unordnung bringen würde. Ich aber, obgleich ich noch nie so viele Kräfte hatte zusammenwirken lassen, noch etwas dergleichen gesehen hatte, noch durch irgendeine Vergleichung darüber klarwerden konnte, fühlte mich doch sicher, daß ich es tun könnte, weil ich wußte, daß vier Pferde, die an einem jener Seile ziehen, wie ich sie angeordnet hatte, wenn sie sich auch noch so sehr anstrengten, doch niemals imstande sein würden, es zu zerreißen, sondern wenn irgendein Göpel zu viel von der Last zu tragen bekommen würde, könnte er sich nicht mehr drehen, aber ebensowenig, wie gesagt, das Seil zerreißen; die anderen, zurückgebliebenen Göpel würden inzwischen gedreht werden, bis jeder wieder seinen richtigen Teil von der Last auf sich genommen habe. Dann würde jener erste, der zu sehr belastet war, auch wieder anfangen können, sich zu drehen und alle Kräfte sich vereinigen. Außerdem hatte ich angeordnet, daß nach je drei oder vier Umdrehungen der Göpel angehalten werden sollte und daß die Leute, wenn sie die Seile dann berühren und eines zu stark gespannt fänden, es nachließen...

Alle diese Anordnungen waren mir nicht neu, und ich vermied mit ihnen alle Gefahren und war sicher, daß kein Seil reißen würde."

Bei der Aufrichtung des Göpels gelangten zum Einsatz: 40 Göpel, 140 Pferde, 800 Arbeiter.

(Text aus Jonas u.a., S. 228)

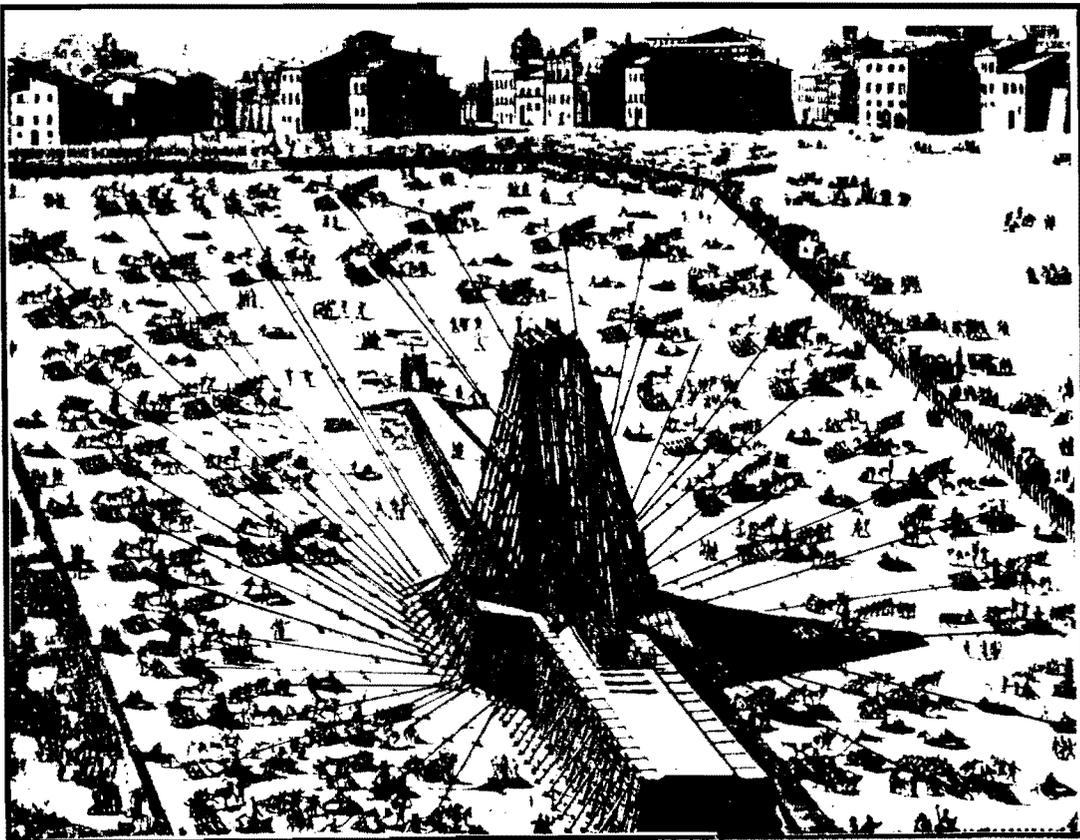
Aufgaben:

1. Wie hat der Ingenieur Fontana das Gesamtgewicht des Obeliskens berechnet?
2. Warum glaubt der Ingenieur Fontana nicht, daß einzelne Göpel zerbrechen?
3. Vergleicht Eure Schätzung der Zahl der Göpel und Arbeiter mit den Angaben des Textes.
4. Die Niederlegung, Versetzung und Wiederaufrichtung des Obeliskens wird als technische Großleistung (Varchmin, S. 9) bewertet.

Versucht herauszubekommen, wer zu welcher Zeit den Obeliskens nach Rom gebracht und dort aufgestellt hat, woher der Obelisk kam und wer ihn ursprünglich gemacht und aufgestellt hat.

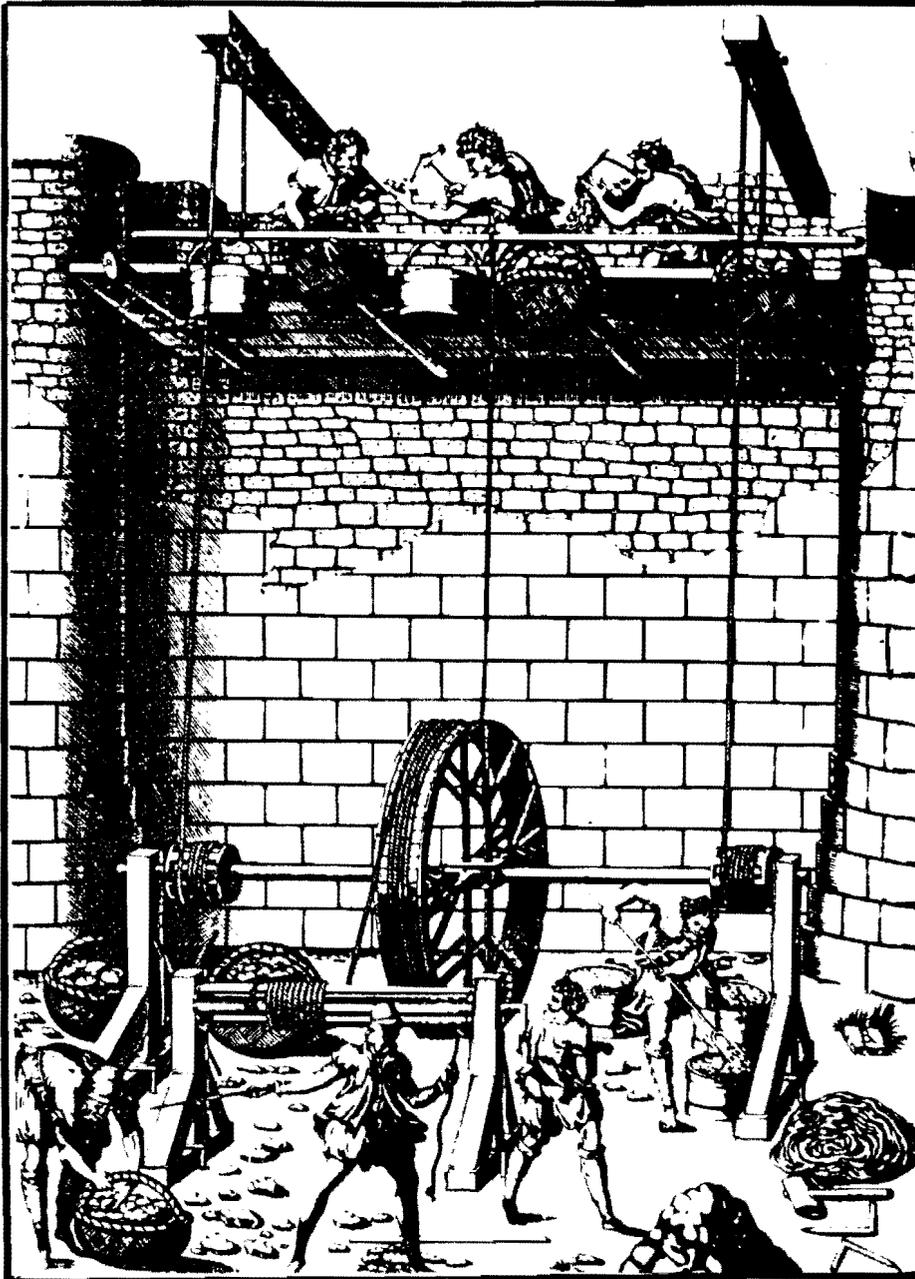
Wenn Ihr das alles gelöst habt, könnt Ihr zwei Völker nennen, die die technische Großleistung schon viel früher vollbracht haben müssen.

Die Verschiebung des Obeliskens in Rom 1586



(Aus: G. Lanz, S. 419)

Quelle: Deutsches Museum in München



(aus: Varchmin, S. 64)

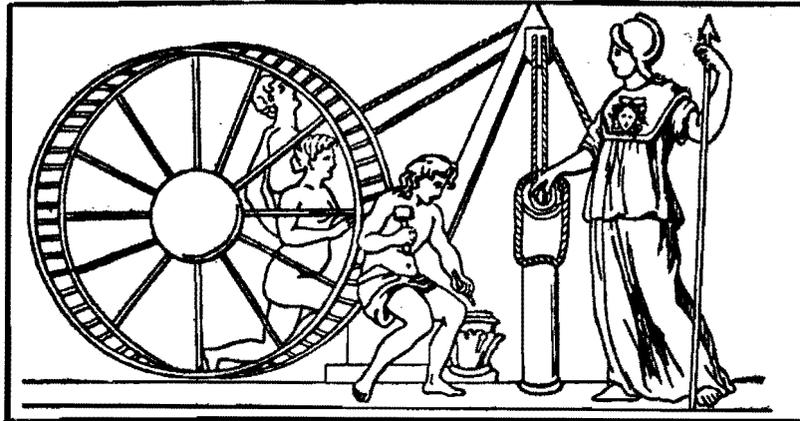
1. Versucht die Maschine zu erklären.
2. Baut mit einem technischen Baukasten oder mit Garnrollen und anderen Materialien einen solchen Aufzug nach.
3. Meßt mit Kraftmesser nach, wieviel Kraft Ihr an Eurer Maschine zum Hochziehen des Gewichtes braucht. Überlegt, wie Ihr die Kraftmesser an Eurer Maschine anbringen müßt.

Kräne mit Laufrad

Römisches Hebegerät mit Tretradantrieb

Aufgaben:

In beiden Bildern kann man nicht sehen, wie die Kraft des Lauf-  
rades in die Zug-  
kraft am Kran um-  
gesetzt wird.



*Römisches Hebezeug für Säulen. Antrieb durch ein Tretrad.*

(aus: Klemm 54, S. 14)

Die Figur rechts im Bild ist eine Dar-  
stellung der Göttin Pallas Athene, einer  
Schutzgöttin der Handwerker und Künstler

Kran mit Laufrad im 15. Jahrhundert

- 1) Versucht ein Modell zu bauen, bei dem Ihr am "Laufrad" mit einem Kraftmesser die Kraft messen könnt, die nötig ist, ein Gewicht hochzuziehen.
- 2) Mit der schweren Arbeit im Laufrad waren Sklaven beschäftigt (vgl. den Text S. 47). Hat das Laufrad diesen Sklaven die Arbeit erleichtert?
- 3) Beurteile die technische Entwicklung zwischen beiden Geräten, zwischen denen 1500 Jahre liegen.
- 4) Hat in diesem Fall die technische Entwicklung dazu geführt, den Arbeitern die Arbeit zu erleichtern?



(aus Jonas u.a., S. 187)

### 3. Fördern und Entwässern im Bergbau

Der Bergbau zu Zeiten G. Agricolas (also im 16. Jahrhundert) wies schon viele Momente kapitalistischer Produktivkraftentwicklung auf. Obwohl die direkte Abbautechnik vor Ort kaum verbessert wurde, so mußte doch die Fördertechnik und die Entwässerungstechnik mit zunehmender Tiefe erheblich verbessert werden, um größere Abbautiefen zu erreichen.

In der Fördertechnik verwendete man zum Antrieb Kurbeln, Haspeln und Laufräder und Fußgöpel (teilweise in Verbindung mit Getrieben und Schwungrädern), die mit Menschenkraft betrieben wurden, sowie mit Pferden betriebene Göpelwerke und mit Wasserkraft angetriebene Wasserräder oder Kehrrädern, d.h. doppelte Wasserräder für jede Laufrichtung.

Für die Wasserhaltung, d.h. das schwierigste Problem des Bergbaus zum Beginn der Neuzeit, verwendete man die verfügbaren Antriebstechniken in Verbindung mit verschiedenen Pumpsystemen wie z.B. endlosen Eimerketten, Förderketten mit Bällen in Rohren (und für größere Tiefen) Eimer oder selbstfüllenden großen Bulgen (das sind Ledersäcke, die durch Eisenringe aufgehalten werden).

Daneben wirkten die vorhandenen Antriebstechniken über Nocken und Kipphebel auf verschiedene Kolbenpumpen. Für größere Fördertiefen verwendete man das Hehrrad mit Bulgen (vgl. Agricola, S. 170) oder -wo keine ausreichende Wasserkraft verfügbar war- große Pferdegöpel (teilweise mehrfach übereinander).

#### Medienhinweis:

Einen guten Einblick in die Probleme des Bergbaus zu Zeiten G. Agricolas gibt der Film:

"Alter Bergbau im Harz."  
F 32 2539  
(16 mm, Lichtton, Farbe, 18 Minuten)

Der Film behandelt das zentrale Problem der Entwässerung und die notwendige Nutzung fließenden Wassers als Energieträger für Förderung und Wasserhebwerke. Im einzelnen wird beschrieben, wie sich die Harzer Bergleute durch Umlenkung von Bächen und Entwässerung von Hochflächen sowie durch Anlagen von Stauteichen die nötige Wasserkraft beschaffen. Die Entwässerung der Gruben durch den 26 km langen Ernst-August-Stollen zeigt eine andere Form der Entwässerung. Auch auf den heutigen Bergbau im Harz wird eingegangen.

Zwei Fördermaschinen  
mit Rundbaum

Rundbaummaschine mit Kurbelantrieb

Fragen:

- 1) Wodurch unterscheiden sich die beiden Maschinen?
- 2) Schaut Euch das Förderseil um den Rundbaum genau an und erklärt, wieviele Eimer auf welche Weise daran befestigt sind.

Was passiert mit den Eimern (dem Eimer) beim Förderbetrieb?

- 3) Welche Funktion hat Eurer Meinung nach das Rad?
- 4) Versucht die beiden Maschinen nachzubauen und vergleicht sie.
- 5) An welcher Maschine ist die Arbeit nach Eurer Meinung leichter?



Der vorn am Schacht verlegte Pfühlbaum A. Der hinten am Schacht verlegte Pfühlbaum B. Die zugespitzten Pfähle C. Die Querhölzer D. Die Haspelstützen E. Die Pfadeisen F. Der Rundbaum G. Seine Zapfen H. Das Holz I. Die Kurbel K. Das Förderseil L. Der Seilhaken M. Das Fördergefäß N. Sein Bügel O.

(aus: Agricola, S. 131)

Radhaspelmaschine

- 1) Bei welchen Bergwerken werden Radhaspelmaschinen eingesetzt?
- 2) Welche Funktion hat das Rad, wenn aus geringen Tiefen gefördert wird, und welche hat es, wenn aus größeren Tiefen gefördert wird?
- 3) Wird das Schwungrad eingesetzt, um dem Haspler die Arbeit zu erleichtern?



Der Rundbaum A. Die geraden Stäbe, auch Haspelwinden genannt B. Das Haspelhorn C. Die Speichen des Rades D. Die Felgen E.

(aus: Agricola, S. 132)

Wem hilft das Schwungrad in der Fördermaschine?

Georg Agricola beschreibt die Funktionsweisen der beiden Fördermaschinen.

1. Rundbaum mit Kurbeln

"Um den Rundbaum ist das Förderseil gewickelt und seine Mitte am Rundbaum befestigt, an seinen beiden Enden befinden sich eiserne Haken, welche in den Bügel des Fördergefäßes eingehängt werden. Dadurch, daß der Rundbaum mit den Kurbeln\* in Umdrehung versetzt wird, wird immer das volle Gefäß aus dem Schachte herausgezogen und das leere hineingelassen. Den Rundbaum drehen zwei Männer."

(aus: Agricola, S. 130)

\* ("im Originaltext steht für Kurbel Haspelhorn")

2. Radhaspelmaschine

"Die zweite Maschine, deren sich die Bergleute bedienen, wenn die Schächte tiefer sind, unterscheidet sich von der ersten durch das Rad, welches sie außer den Haspelhörnern hat. Diese dreht nur ein Haspler, wenn die Last aus geringer Tiefe gefördert wird, das Rad vertritt die Stelle des zweiten Hasplers; wenn aus größerer Tiefe gefördert wird, haspeln drei, und das Rad vertritt die Stelle des vierten. Denn wenn der Rundbaum einmal in Umdrehung versetzt worden ist, wird er durch die Bewegung des Rades unterstützt, so daß er wesentlich leichter gedreht werden kann.

Zuweilen werden an diesem Rade Bleistücke befestigt oder auch an seine Speichen gebunden, damit bei der Drehung durch das vermehrte Gewicht die Schwungkraft größer wird. Manche stecken aus demselben Grund zwei, drei oder auch vier eiserne Stäbe durch den Rundbaum und beschweren deren Ende mit Blei.

...Wenn drei Haspler diese Maschine im Kreise drehen, dann sind an dem einen Ende des Rundbaums vier Stäbe durchgesteckt, am anderen Ende befindet sich jenes Haspelhorn\*, das in den Bergwerken allein angewendet wird. Es besteht aus zwei Teilen, von denen der runde Griff, welcher lang herausragt, mit den Händen erfaßt wird; der vierkantige Teil, der senkrecht heraussteht, hat zwei Bohrungen, in der einen steckt der runde Griff, in der anderen der Zapfen des Rundbaumes. Das Haspelhorn dreht ein Mann, die gekreuzten Stäbe zwei, von denen der eine zieht, der andere drückt.

Alle Haspler, an welcher Maschine sie auch arbeiten, müssen starke Leute sein, damit sie eine so schwere Arbeit leisten können."

(aus: Agricola, S. 131 und 132)

\* mit Haspelhorn ist eine Kurbel gemeint.

Anleitung für ein Simulationsspiel zum Vergleich von verschiedenen Fördermaschinen im Bergbau des 16. Jahrhunderts

Das Simulationsspiel soll Euch helfen, herauszufinden, was die verschiedenen technischen Verbesserungen an den Fördermaschinen für die Arbeiter und für die Bergwerksbesitzer bedeutet haben.

In einem Simulationsspiel könnt Ihr die folgenden Fördermaschinen vergleichen:

1. Rundbaum mit bleiverstärktem Schwungrad und Doppeleimerförderung
2. Rundbaum mit Doppeleimerförderung (gut möglich ist zusätzlich auch ein Vergleich mit entsprechenden Maschinen mit einfacher Eimerförderung)

Für jedes Bergwerksmodell gibt es folgende von Schülern zubesetzenden Stellen:

1. Besitzer des Bergwerks
2. Haspler (der Schüler treibt den Rundbaum beim Fördern an)
3. Einlader (unten im Bergwerk)
4. Auslader (oben am Förderschacht)

Spielanleitung:

1. Bildet Gruppen aus je vier Schülern und bestimmt einen Spielleiter und Schiedsrichter.
2. Baut Modelle der Maschinen und achtet dabei darauf, daß jede Fördermaschine die gleiche Förderhöhe zu bewältigen hat.
3. Aufgabe im Spiel ist es, in einem Spielzeitraum von 30 Minuten (wenn Ihr nicht genügend Zeit habt, reichen auch 15 Minuten) mit den Fördermaschinen möglichst rasch Gewichtsstücke nach oben zu fördern. Die Gewichte sollen unten in Eurem Förderkorb eingeladen werden und oben am Rundbaum ausgeladen werden. Die Förderkörbe dürfen nur durch Drehen am Rundbaum hochgezogen werden.
4. Alle Mitspieler müssen sich darauf einigen, wieviel Erz (Gewichtsstücke oder ähnliches) jeweils mit einem Förderkorb transportiert werden darf.
5. Die während des Spielzeitraums geförderte Gewichtsmenge wird vom jeweiligen Bergwerksbesitzer gezählt. Sollten die zum Spiel verwendeten Gewichtsstücke für den Förderungszeitraum nicht ausreichen, so kann der Bergwerksbesitzer nach Zählung der geförderten Gewichtsstücke diese immer wieder zum Weiterfördern nach unten herunterreichen.

6. Auf ein Zeichen des Spielleiters beginnt die Förderung in allen Bergwerken. Nach Ablauf der vereinbarten Zeit wird die Förderung auf ein Zeichen des Spielleiters gestoppt. Die in jedem Bergwerk geförderte Gewichtsmenge wird vom Besitzer dem Spielleiter mitgeteilt und von diesem in eine Tabelle an der Tafel eingetragen.
7. Jeder Arbeiter erhält von seinem Bergwerksbesitzer einen festen Lohn, der dem Inhalt von acht geförderten Förderkörben an Erz entspricht.

Möglich ist auch eine Variation des Simulationsspiels mit Akkordentlohnung an einigen Maschinen. Dieser Akkordlohn muß nach einer kurzen Probelaufzeit oder während des Spiels zwischen den Arbeitern und dem Bergwerksbesitzer ausgehandelt werden.

8. Das nach Abzug des Lohns verbleibende Fördererz entspricht dem Gewinn der Bergwerksbesitzer.

vor dem Kopieren abdecken-----

Bei der Auswertung des Simulationsspiels sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- o Was leisten die einzelnen Maschinen?
- o Wie fühlen sich die Arbeiter an den einzelnen Maschinen?
  - Was stellen die Haspler an Ähnlichkeiten und Unterschieden bei ihrer Arbeit heraus?
  - Was stellen die Ein- und Auslader an Ähnlichkeiten und Unterschieden bei ihrer Arbeit heraus?
- o Wann haben die Arbeiter an ihren Maschinen (Haspler und Ein- und Auslader) jeweils eine Pause gehabt?
- o Welchen Gewinn haben die einzelnen Unternehmer gemacht?
- o Welche Maschine bringt dem einzelnen Unternehmer am meisten Gewinn?
- o Bei welcher Maschine haben die Arbeiter während des Förderungsprozesses die meisten Pausen?
- o An welchen Maschinen sind die Arbeiter mit einem festem Lohn besser dran?
- o An welchen Maschinen sind die Arbeiter mit einem Akkordlohn besser dran?

(Fragt Euren Lehrer, worin die Unterschiede zwischen festem Lohn und Akkordlohn bestehen, wenn Ihr es nicht wißt).

### Fußgöpel zur Förderung

"Die dritte Maschine ermüdet die Arbeiter weniger, obgleich sie größere Lasten hebt, allerdings langsamer, wie alle diejenigen Maschinen, die Zahnradübersetzung haben, dafür aber aus größerer Tiefe, nämlich bis zu 180 Fuß. Sie ist folgendermaßen gebaut: Die Zapfen einer stehenden Welle drehen sich in zwei eisernen Lagern, von denen das untere in einem in die Erde verlegten Holzklotze ruht, das andere am Gebälk. Am unteren Teile hat diese Welle eine Scheibe, die aus dicken und festen Brettern zusammengefügt ist, oben ein Kammrad; dieses treibt das Getriebe der waagerechten Welle, um die das Förderseil gewickelt ist. Ihre Zapfen drehen sich ebenfalls in eisernen Lagern am Gebälk. Die beiden Arbeiter fassen und halten mit den Händen eine Stange, die an zwei senkrechten Säulen befestigt ist, damit sie nicht fallen, und treiben die Maschine, indem sie mit den Füßen die Leisten rückwärts stoßen. Sooft sie ein mit Bergen gefülltes Gefäß herausgezogen und entleert haben, ziehen sie das nächste heraus, indem sie die Maschine in entgegengesetzter Richtung in Umdrehung versetzen."



*Die stehende Welle A. Der Klotz des Fußlagers B. Das Gebälk C. Die Scheibe D. Das Kammrad E. Die liegende Welle F. Das Getriebe G. Das Förderseil H. Die Stange I. Die Säulen K. Die Leisten der Scheibe L.*

(aus: Agricola, S. 133)

Wie die anderen Fördermaschinen hat auch der Göpel zwei Förderkörbe, von denen immer einer gefüllt nach oben, der andere leer nach unten geht.

(aus: G. Agricola, S. 133)

Wie die anderen Fördermaschinen hat auch der Göpel zwei Förderkörbe, von denen immer einer gefüllt nach oben, der andere leer nach unten geht.

### Fragen:

1. Worin unterscheidet sich diese Maschine von der Rundbaummaschine und von der Radhaspelmachine?
2. Welcher Teil des Göpels dreht sich, welcher Teil ist fest? Zeichne das in unterschiedlichen Farben im Bild ein.
3. Wenn die Arbeiter die Scheibe einmal herumbewegt haben, wie oft dreht sich nach Deiner Schätzung die Welle mit dem Förderseil (zur Hilfe vergleiche die Zähne von Kammrad und Getriebe)?
4. Lese den Text und vergleiche die Arbeitsleistung dieser Maschine mit der Radhaspelmachine.
5. Vergleiche die Arbeit der Arbeiter an den drei Dir bekannten Fördermaschinen.
6. Baue mit einem technischen Baukasten ein Göpelwerk.

## M 23

### Pferdegöpel mit Bremse

#### Fragen:

1. Vergleicht die Maschine mit dem Fußgöpel.
2. Beschreibt am Bild, wie die Kraft des Zugpferdes in die zum Fördern notwendige Drehrichtung umgeformt wird.
3. Versucht zu erklären, wie die Bremse funktionieren könnte.

Agricola beschreibt:  
Diese Maschine wird "durch Pferde betrieben und hat zwei Wellen, nämlich eine stehende, an der unten, wo sie in einen unterirdischen Raum hinabreicht, ein Kammrad, und eine liegende Welle, auf der das Getriebe sitzt.... Sie vermag die Gefäße aus einem 240 Fuß tiefen Schachte zu ziehen...."



Das Kammrad an der stehenden Welle A. Die liegende Welle B. Das Getriebe C.  
Die Bremscheibe D. Der Seilkorb E. Der Bremschuh F. Der zweiarmige Hebel G.  
Der Bremsklotz H. Der Sturzhaken I.

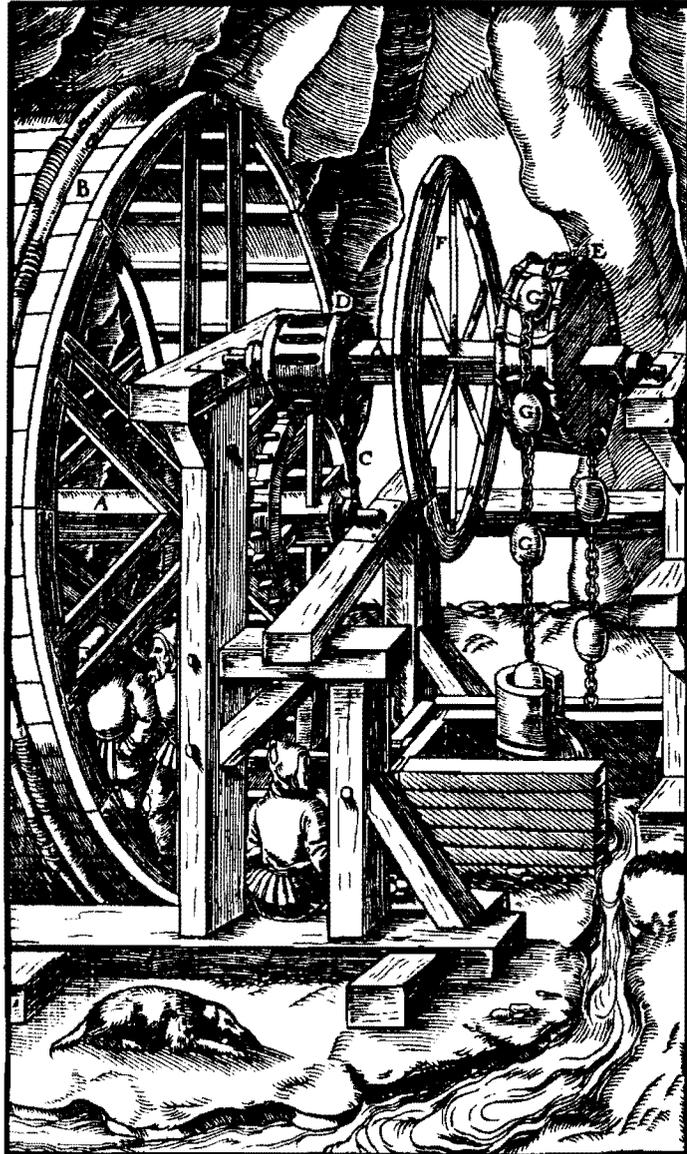
(aus Agricola, S. 135)

(aus: Agricola, S. 138)

Tretrad mit Ballkette zur Entwässerung (sog. Heinzenkunst)

Fragen:

1. Beschreibt die Funktionsweise der Maschine.
2. Wenn sich das Laufrad einmal ganz gedreht hat, wie oft dreht sich dabei die Welle mit dem Kettenkorb?
3. Welche Funktion könnte das Rad F haben?
4. Wie funktioniert das im Bild zu sehende Pumpsystem? Mache eine Funktionsskizze von Deiner Vermutung.
5. Diese Maschine wird ausschließlich zur Entwässerung der Bergwerke verwendet. Auch die anderen drei Maschinen (Rundbaum mit Kurbel, Radhaspel und Fußgöpel mit Eimern, Pferdegöpel mit Bulgen\*) können mit Wassereimern zur Entwässerung benutzt werden. Vergleiche die Leistungsfähigkeit der Maschinen zur Entwässerung.



Die Wellen A. Das Tretrad B. Das Zahnrad C. Das Getriebe D. Der Kettenkorb E.  
Das andere Rad F. Die Bille G.

(aus Agricola, S. 168)

\* Bulgen sind große Ledersäcke (statt der Eimer) zur Wasserförderung .

Agricola beschreibt: Diese Maschine hat zwei Wellen. "Auf der untersten sitzt an der einen Seite das Rad, welches von zwei Leuten getreten wird; es ist 23 Fuß hoch und 4 Fuß breit, damit beide Arbeiter nebeneinander arbeiten können; auf der anderen das Zahnrad. Auf der oberen Welle sitzt das Getriebe, dann der Kettenkorb mit eingeschlagenen Klammern und ein Rad. Das letztere ist demjenigen ähnlich, welches die zweite Maschine hat, die vornehmlich Erde und Gestein aus den Schächten fördert (gemeint ist der Radhaspel).

Die das Rad tretenden Arbeiter ergreifen, damit sie nicht fallen, Stangen, die an der Innenseite des Rades angebracht sind. Wenn sie das Rad drehen, setzt das zugleich in Umdrehung versetzte Zahnrad das Getriebe in Bewegung. Dadurch erfassen wieder die Klammern des Kettenkorbes die Ringe der Förderkette, und diese fördert mittels der Bälle durch die Röhren das Wasser 66 Fuß hoch."

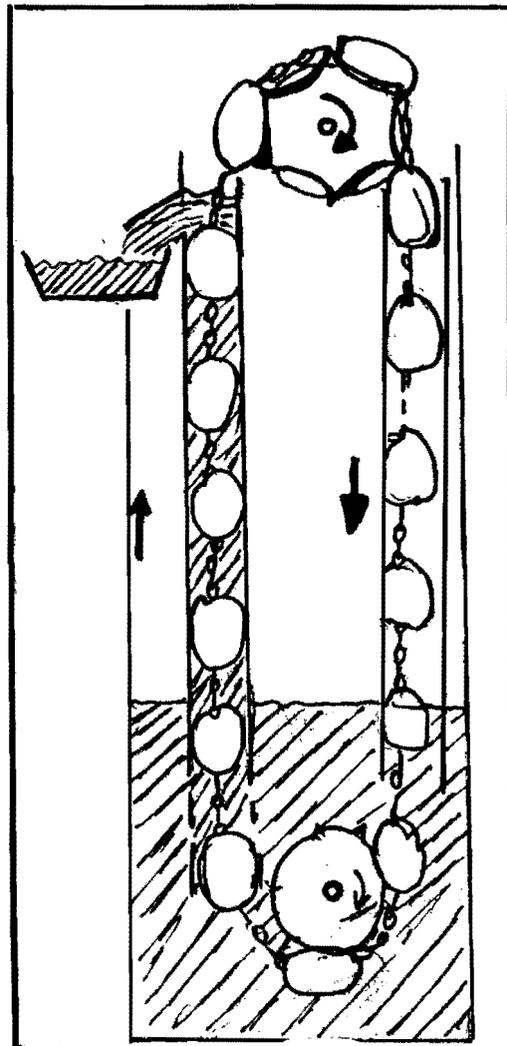
(aus: Agricola, S. 167)

"Durch die zusammengesetzten Rohre wird das Wasser von den Bällen an der Führungskette aus dem Sumpfe bis zum Stollen hinaufgezogen. Hier wird es durch den Ausguß des obersten Rohres in die Wassersaige, durch die es abfließt, ausgegossen. Die Bälle, welche das Wasser heben, werden mit den eisernen Ringen der Förderkette verbunden. Der Abstand der Bälle beträgt 6 Fuß, sie bestehen aus Schwanzhaaren des Pferdes und sind in Leder eingenäht, damit sie nicht durch die eisernen Klammern des Kettenkorbes beschädigt werden; sie sind so dick, daß man sie mit beiden Händen umfassen kann."

(aus: Agricola, S. 161)

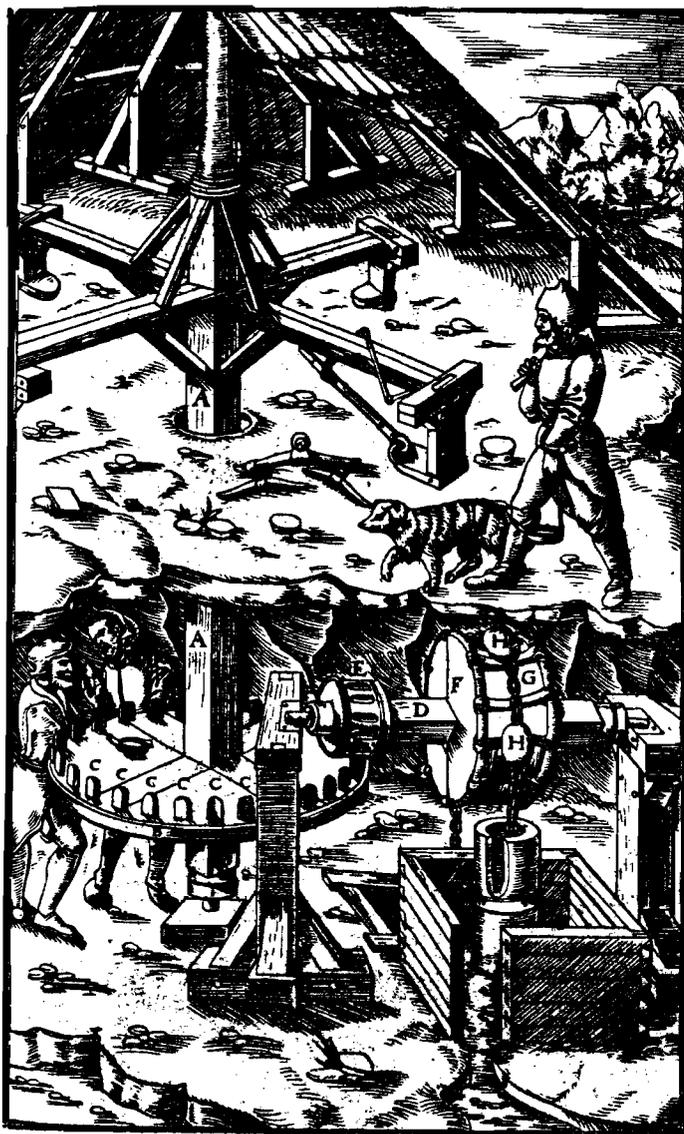
### Wie funktioniert die Heizenkunst

1. Versucht zu erklären, warum die nebenstehende Maschine Wasser heben kann.
2. Baue mit zwei Röhren und Styroporkugeln und Elementen aus technischen Baukästen eine solche Wasserhebeanlage nach dem Heizenkunstprinzip und probiere sie aus.



Pferdegöpel treibt Heizenkunst (Ballkette zur Entwässerung)

1. Vergleicht diese Maschine mit der Heizenkunst mit Tretantrieb.
2. Entnehmt dem Text, aus welchen Tiefen die Tret- rad- und die Pferdegö- pelmaschine Wasser he- ben konnten.
3. Entnehmt dem Text, wie- viel Pferde zum Dauer- betrieb nötig sind, und vergleicht die Be- triebskosten dieser Ma- schine mit der Tret- rad- maschine.
4. Warum mußte die Decke zwischen dem Pferdegö- pel und dem Getriebe- raum besonders stark sein?
5. Welche Maschine war Dei- ner Meinung nach im Bau teurerer?



"Maschinen dieser Art be- nutzen die Bergleute, wenn kein Aufschlagwasser für das Rad herangeführt werden kann; ihr Bau ist der fol- gende: Zunächst stellen sie einen Maschinenraum her, den sie mit starken Hölzern und Brettern ausbauen, damit die Seiten nicht einstürzen, die Maschine beschädigen und Men- schen verletzen. Oben decken sie den Maschinenraum mit Hölzern ab, damit die Pferde, die die Maschine in Bewe- gung setzen, darauf umher- gehen können."

(aus: Agricola, S. 163)

Die stehende Welle A. Das Zahnrad B.  
Die Kämme C. Die liegende Welle D.  
Das Getriebe E. Der Kettenkorb F.  
Die Förderkette G. Die Taschen H.  
(aus. Agricola, S. 165)

"Auf diese Weise entsteht eine kreisrunde Fläche, deren Durch- messer etwa 50 Fuß beträgt. Durch eine Öffnung in der Mitte der Fläche reicht die senkrechte, quadratische Welle hinab."

(aus: Agricola, S. 164)

"Diese Maschine, welche das Wasser aus einem 240 Fuß tiefen Schach- te hebt, setzen 32 Pferde in Bewegung. Von diesen arbeiten je acht vier Stunden lang, dann ruhen sie 12 Stunden aus, und ebenso vie- le treten an ihre Stelle. Derartige Maschinen sind an den Abhän- gen des Harzes und in dessen Nähe in Gebrauch. Es können auch, wenn die Verhältnisse es erfordern, mehrere derartige Maschinen auf einer Grube aufgestellt werden, und zwar eine immer tiefer als die andere...."

(aus: Agricola, S. 164)

Wasserrad treibt Heinzenkunst (Ballkette zur Entwässerung)

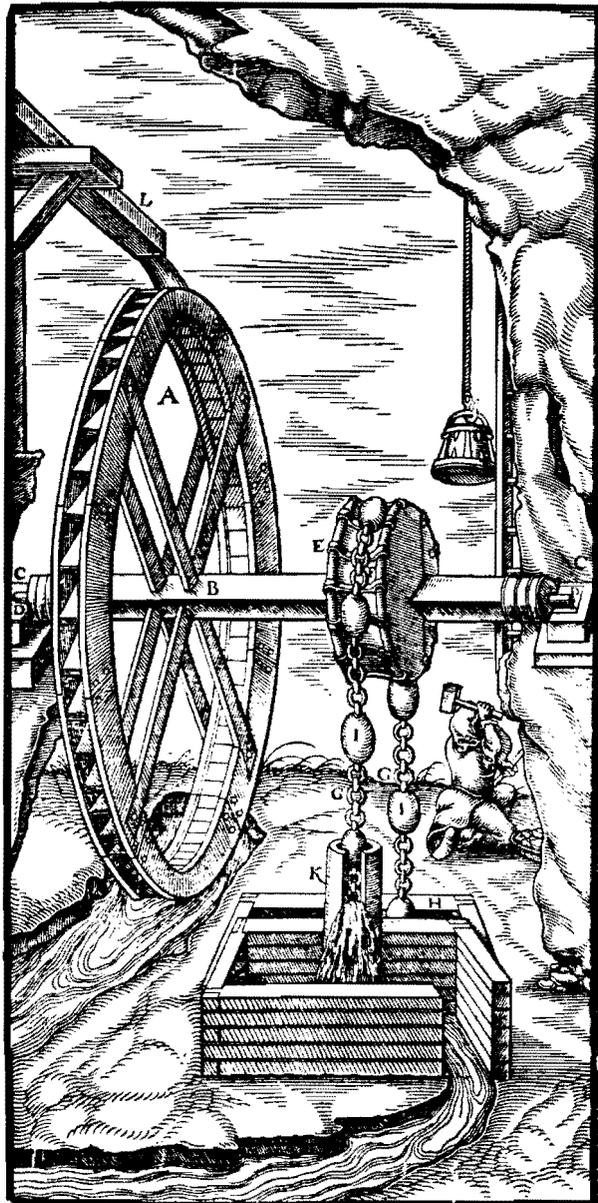
Fragen:

1. Vergleicht diese Maschine mit den beiden vorigen.
2. Entnehmt dem Text, aus welcher Höhe die unterschiedlichen drei Heinzenkünste Wasser heben können.
3. Agricola spricht davon, daß die schwere Arbeit des Wasserhebens "nicht nur Menschen, sondern auch Pferde ermüdet. Nur Wasserkraft vermag ein Rad mit Kettenkorb ununterbrochen anzutreiben."  
Wenn Ihr nun die drei Arten der Heinzenkunst-Entwässerung vergleicht, welches Bergwerk konnte am billigsten arbeiten, welches war im Betrieb das teuerste, und welches hatte die geringste Fördertiefe?

Agricola beschreibt, daß das Bachwasser, welches das Rad antreibt, über ein Gerinne herbeigeführt wird.

"So drehen die vom Wasserstoß getroffenen Schaufeln beständig das Rad und damit zugleich die Kettentrommel. Auf diese Weise wird die Kette herausgezogen und drückt mittels der Bälle das Wasser heraus. Wenn das Rad der Heinzenkunst 24 Fuß hoch ist, hebt sie das Wasser aus einem Schachte von 210 Fuß Tiefe, wenn es 30 Fuß hoch ist, aus einem Schachte von 240 Fuß Tiefe. Für das letztere muß der Bach eine verhältnismäßig große Menge Wasser führen."...

(aus: G. Agricola, S.161)



Das Rad A. Die Welle B. Der Zapfen C. Die Ringlager D. Der Kettenkorb E. Die eisernen Klammer F. Die Kette G. Die Schachthölzer H. Die Bälle I. Die Rohre K. Das Aufschlaggerinne L.

(aus: Agricola, S. 162)

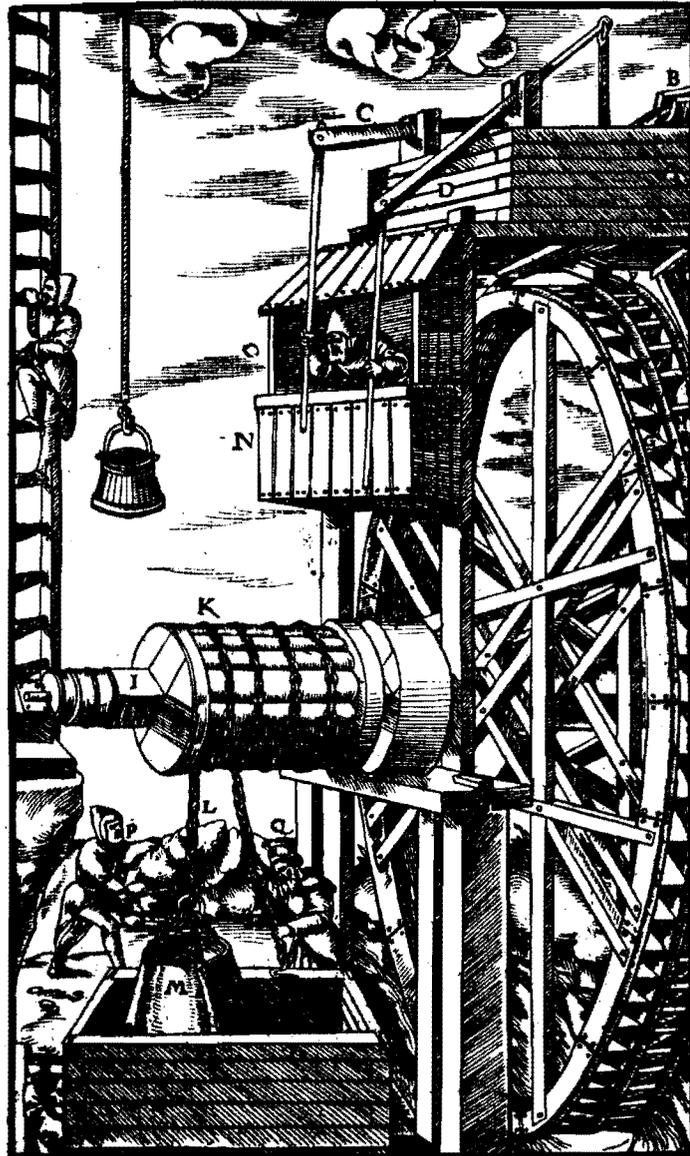
"Überhaupt wird Wasser durch Wasser gehoben."

(aus: G. Agricola, S. 163)

Das Kehrrad mit Bulgen

Fragen:

1. Versucht zu beschreiben, wie die im Bild gezeigte Maschine zur Entwässerung funktioniert.
2. Welche Arbeitspositionen könnt Ihr auf dem Bild erkennen?
3. Könnt Ihr erklären, warum da zwei Wasserräder nebeneinander sind?
4. Schätzt das Fassungsvermögen der Bulge (des hier benutzten Wasserbehälters) im Vergleich zu den anderen Euch bekannten Fördereinrichtungen.



*Der Wasserbehälter A. Das Gerinne B. Die Hebel C, D. Die Gerinne unter den Schützen E, F. Die zwei Schaufelkränze G, H. Die Welle I. Der Kasten K. Die Pflanzkasten L. Die Bulge M. Die hängende Bühne N. Der Maschinenführer O. Die Arbeiter, welche die Bulgen entleeren P, Q.*

(aus Agricola, S. 170)

-----  
Georg Agricola beschreibt das Kehrrad mit Bulgenkunst:

"Die größte von allen Maschinen für die Wasserhebung ist folgendermaßen gebaut. Zuerst wird... ein Wasserbehälter, 18 Fuß lang und 12 Fuß breit und hoch aufgestellt. Dahinein wird das Wasser... geleitet. Der Wasserbehälter hat zwei Öffnungen und ebenso viele Schützen; diese sind oben an Hebeln befestigt, durch die sie in Führungen angehoben und wieder niedergelassen werden können, so daß auf diese Weise die Öffnungen geöffnet und auch wieder ge-

geschlossen werden. An die Öffnungen schließen zwei Gerinne an, die aus Brettern bestehen. Diese nehmen das aus dem Behälter ausfließende Wasser auf und gießen es auf die Schaufeln des Rades, die, durch den Stoß getroffen, das Rad drehen. Das kürzere leitet das Wasser so gegen die Schaufeln, daß sie das Rad nach dem Wasserbehälter zu drehen, das längere so, daß sie das Rad in entgegengesetzter Richtung drehen.... Das Rad ist 36 Fuß hoch und auf der Welle befestigt. Es hat, wie ich schon gesagt habe, eine zweifache Schaufelung."

Auf der Welle sitzt der Kettenkorb, um den herum die Förderkette gewickelt ist, an deren Ende je eine Bulge hängt. Neben dem Förderkorb ist die Bremsscheibe auf der Welle befestigt. "Wenn an diese, sooft es erforderlich ist, die Bremse gelegt wird, stellt sie die Maschine still."

(aus: Agricola, S. 167, 169)

### Wie die Arbeit am Kehrrad rationalisiert werden kann

"Diese Maschinen bedienen fünf Mann: einer läßt die Schützen herab und verschließt die Öffnungen des Wasserbehälters oder zieht die Schützen und öffnet sie. Dieser Maschinenwärter steht auf einer hängenden Bühne neben dem Wasserbehälter. Wenn die eine Bulge fast bis zur Bühne herausgezogen ist, schließt er die Öffnung, damit das Rad stillsteht. Nachdem die Bulge ausgegossen ist, öffnet er die andere Öffnung, damit die andere Schaufelung, vom Stoß des Wassers getroffen, das Rad im anderen Sinne in Bewegung setzt.

Falls er die Öffnung nicht schnell genug schließen und den Wasserzufluß abstellen kann, ruft er seinen Genossen an und befiehlt ihm, den Brems in Tätigkeit zu setzen und das Rad so zum Stillstand zu bringen. (Es kann sein, daß der Mann unten links im Bild die Bremse über Hebel bedient).

Zwei Leute entleeren abwechselnd die Bulgen, der eine von ihnen steht an der Seite der Bühne vor dem Schachte, der andere dahinter. Wenn die Bulge fast ganz herausgezogen ist, wofür ein bestimmter Ring der Kette das Zeichen gibt, so hängt der Arbeiter, der auf der einen Seite der Bühne steht, den Sturzhaken, einen starken gekrümmten eisernen Haken, in einen Ring der Förderkette und zieht den ganzen folgenden Teil der Kette auf die Bühne, während die Bulge von dem anderen entleert wird. und zwar deshalb, damit der Teil der Förderkette, der mit der leeren Bulge hinabgelassen ist, nicht durch sein Gewicht den übrigen Teil der Kette von der Welle zieht, und alles in den Schacht fällt.

Wenn aber der Arbeitsgenosse sieht, daß die mit Wasser gefüllte Bulge fast herausgezogen ist, ruft er den Maschinenwärter an und befiehlt ihm, die Öffnung des Wasserbehälters zu schließen, damit er Zeit hat, die Bulge zu entleeren. Nachdem sie entleert ist, öffnet der Wärter zunächst die andere Öffnung des Wasserbehälters etwas, um den Teil der Kette mit der leeren Bulge wieder in den Schacht zu lassen, dann öffnet er sie ganz. Wenn dann der Teil der Kette, der auf die Bühne gezogen war, auf den Korb gewickelt und dann wieder in den Schacht gelassen ist, zieht der Arbeiter den großen Sturzhaken wieder aus dem Kettengliede heraus.

Der fünfte Arbeiter steht unten neben dem Sumpfe in einem ausgebrochenen Orte, damit er nicht verletzt wird, falls es sich ereignet, daß ein Ring bricht und ein Teil der Kette oder ein anderer Gegenstand in den Schacht fällt. Er lenkt mit einer eisernen Schaufel die Bulge und füllt sie mit Wasser, falls sie es nicht von selbst schöpft.

Jetzt näht man in den oberen Rand der Bulge einen eisernen Ring ein, damit sie immer offenbleibt und, in den Sumpf gelassen, von selbst das Wasser schöpft. Dann wird ein Arbeiter im Sumpfe nicht mehr benötigt.

Wenn übrigens jetzt von den beiden Arbeitern auf der Bühne der eine die Bulge entleert und der andere die Schützen schließt und zieht, so pflegt der erste auch den Sturzhaken in den Kettenring einzuhängen; dann sind nur drei Arbeiter zur Bedienung dieser Maschine nötig. Endlich, wenn zuweilen derjenige, der die Bulge entleert, auch die Bremse bedient und das Rad feststellt, so können zwei Arbeiter die ganze Arbeit leisten."

(aus: Agricola, S. 169 und 1971)

Fragen:

1. Welche fünf Arbeitspositionen gibt es an dem Kehrrad mit Bulgenkunst?
2. Welche Arbeitspositionen spart der Bergwerksbesitzer ein, wenn er nur zwei Mann an der Maschine arbeiten läßt?
3. Welche Folgen hat das für die restlichen zwei Mann?
4. Vergleicht das Kehrrad mit dem Fußgöpel und mit dem Pferdögöpel. Welche Arbeit wird eingespart?

Das Kehrrad und die reichen Kaufherren

"Die Nachfrage nach Metallen, vor allem Eisen, Silber und Kupfer, stieg im 15. und 16. Jahrhundert sprunghaft an. Erzförderung, Metallverarbeitung und Metallhandel warfen reichlich Profite ab. Um die Erzförderung zu steigern, mußte der Abbau weiter in die Tiefe vorgetrieben werden. Dazu waren die Entwicklung und Anwendung von -für die damalige Zeit- sehr großen Maschinen zur Wasserhaltung und Erzförderung Voraussetzung. Der Ausbau so ausgerüsteter Schachtanlagen erforderte zunächst die Investition beträchtlicher Kapitalsummen, bevor die Erzförderung aufgenommen werden konnte und Profit abwarf.

Solange der Abbau nur wenig unter der Erdoberfläche erfolgte -oft trieb man einen Stollen nur schräg in einen Berg vor-, konnte der Bergbau mit Erfolg auf der Grundlage kleiner handwerklicher Produktionseinheiten durchgeführt werden. Im Bergbau dieser Zeit fand man häufig reine Familienbetriebe. In einigen Bergbaugebieten erinnern noch heute erhalten gebliebene Miniaturationabraumhalden an diese bergbauliche Kleinproduktion.

Die notwendige, gesetzmäßige Entwicklung -neue, große und teure Produktionsinstrumente für die weitere Entwicklung des Bergbaus einzusetzen-, verurteilte die Kleinproduktion zum Untergang. Das notwendige Kapital für die Großproduktion kam in erster Linie vom Kaufmannsstand."

(aus: Jonas u.a., S. 200)

Fragen:

1. Warum brauchte man für eine Kehrradmaschine mehr "Kapital" als für die anderen Wasserhebemaschinen?
2. Weshalb war die Kleinproduktion nicht mehr konkurrenzfähig?
3. Warum zogen die Bergwerksbesitzer, wo sie fließendes Wasser zur Grube leiten konnten, wohl das Kehrrad den Pferdegedelpeln vor?
4. Warum versuchten wohl die Bergwerksbesitzer die Zahl der Arbeitsplätze am Kehrrad weiter zu vermindern?  
(vgl. S. 74)

Wem nützt das Kehrrad oder Wie ein Kehrrad in Tirol 600 Wasserknechte um ihren Arbeitsplatz bringt

"Es muß auffallen, daß Agricola bei der eingehenden Schilderung der Wasserhebung nicht auch das Verfahren schildert, die Wasser durch Wasserknechte zu halten.

Sehr anschaulich schildert diese Arbeit Max Reichsritter von Wolfstrigl-Wolfskron in "Die Tiroler Erzbergbaue 1301 - 1665", Innsbruck 1902, S. 39:

"Im Jahre 1515 wurde am Falkenstein bei Schwaz von den Fuggern der Tiefbau begonnen. Zur Erzförderung genügte damals noch ein einfacher Pferdegöpel (böhmische Kunst genannt), die Wasserlösung jedoch geschah durch Menschenkraft mittels lederner Kübel. Die Wasserheber standen in einer über den anderen mit dem Rücken gegen die Fahrten gelehnten vom Schachtsumpf bis zur Sohle des Erbstollens hinauf und beförderten, indem jeder Wasserheber den vollen Kübel seines tiefer stehenden Gesellen ergriff und seinem höher stehenden Gesellen hinaufreichte, auf diese Weise das Wasser aus dem Tiefbaue. Da diese Arbeit ebenso ungesund - natürlich wurde hierbei auch Wasser vergossen und tropfte auf die niedriger stehenden hinunter- als beschwerlich war, mußten die Leute öfters ausgewechselt und auch gut bezahlt werden; die Kosten für die dort nötigen 600 Mann betragen im Jahre die für jene Zeit geradezu riesige Summe von 20 000 fl.\* Eine eigene Ordnung für die Wasserheber trug Sorge, daß diese für den regelmäßigen Betrieb des Unterbaues so wichtige Arbeit im beständigen Gange blieb, was aber trotzdem die Gesellen in der Erkenntnis ihrer Unentbehrlichkeit nicht selten verleitete, durch Androhung von Arbeitseinstellung noch höhere Löhne zu erpressen. Ja Wasserkünstler\*\*, die den Versuch machten, eine Wasserkunst zu bauen, befürchteten damals Angriffe durch die Wasserheber. Erst im Jahre 1554 gelang es dem Kunstmeister Lasser, ein Kehrrad zu bauen, wie es Agricola S. 167 ff. beschreibt, und dadurch die Wasserheber entbehrlich zu machen (Wolfskron, S. 60)."

(aus: Agricola, S. 142)

\* fl = Währungseinheit Florinth entspricht etwa dem Gulden. Die Kaufkraft eines Gulden dürfte etwa 50-60 DM nach heutiger Währung betragen.

\*\* Wasserkünstler = Handwerker, die Wasserräder und Kehrräder konstruieren konnten.

"Eines der reichsten Handelshäuser des 15. und 16. Jahrhunderts war das der Fugger. Die Fugger gaben 1487 Herzog Sigismund einen Kredit von 23 627 Gulden und erhielten dafür als Sicherheit die Nutzung der Silbergruben und Hüttenwerke in Tirol. Als Tirol dann 1490 an den völlig verschuldeten Kaiser Maximilian abgetreten wurde, gelang es den Fuggern, die gesamte Silber- und Kupfergewinnung in Deutschland an sich zu reißen. 1527 muß das Vermögen der Fugger ungefähr 2,02 Millionen Gulden betragen haben. Die großen Vermögen der oberdeutschen Handelshäuser waren zweifellos für die Entwicklung des Bergbaus in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts und zu Anfang des 16. Jahrhunderts von großer Bedeutung."

(aus: Jonas u.a., S. 200)

Fragen:

1. Weshalb war die Arbeit der Wasserknechte so gesundheits-schädlich?
2. Was hätte eine moderne "Gewerkschaft der Wasserknechte" wohl zur Einrichtung des Kehrrades gesagt?
3. Die jährlichen Lohnkosten für die Wasserknechte waren fast so groß wie der Kredit, mit dem die Fugger die Nutzungsrechte der gesamten Tiroler Silbergruben bekamen .  
Welches Interesse hatten die Fugger wohl an dem Kehrrad? Wollten sie die armen Wasserknechte von den ungesunden Arbeiten verschonen?
4. Die Fugger waren der größte "Konzern" ihrer Zeit. Kennt Ihr große Konzerne der Gegenwart, die ebenfalls neue Techniken einführen und Massenentlassungen vornehmen?

Zusatzfrage:

Agricola war ein großer humanistischer Gelehrter, sein Buch über den Bergbau enthält viele Vorschläge, wie die Bergleute sich mit Technik vor Gesundheitsgefahren schützen und sich die Arbeit erleichtern können.

Könnt Ihr Euch vorstellen, warum Agricola von der Wasserhebung durch Wasserknechte, die eine Eimerkette bilden, nichts berichtet?

Zur sozialen Lage der Bergleute

"Im Bergbau hatte sich die Großproduktion entwickelt, obwohl die Produktionstechnik sehr wenig verändert worden war. Verändert hatte sich im wesentlichen die Technik der Wasserhaltung und der Schachtförderung. Die Produktionsinstrumente für den Abbau -Keilhaue, Schlägel, Eisen und das Feuersetzen- blieben unverändert, doch auf der Grundlage der Großproduktion bildete sich eine weitgehende Arbeitsteilung heraus. Diese Arbeitsteilung ermöglichte es den Bergwerksbesitzer, die Intensität der Arbeit und die Ausbildung der Bergarbeiter erheblich zu steigern und für zahlreiche Arbeitsoperationen ungelernete Arbeitskräfte zu beschäftigen. In manchen Bergbaugebieten, wie im Mansfeldischen, ging man dazu über, massenweise Kinder im Alter von 10 bis 16 Jahren als Treckejungen auszubeuten. Da die Jungen klein und beweglich waren, konnte man die Fahrten vor Ort zur Förderung niedrig und schmal halten, dadurch sparte man Abbau- und Ausbauarbeiten."

"Beladen wog der Hund\* etwa drei Zentner. Der Treckejunge schnallte sich mit einem Riemen den Hund an den rechten Fuß und zerrte ihn auf der linken Seite kriechend hinter sich her.

Beschwerden der Knappschaft aus dem Mansfelder Bergbau geben ein erschütterndes Bild von den Höllenqualen der Arbeit der Treckejungen."

(ich habe die Beschwerde ins Deutsch unserer Tage übertragen K.H.)  
"...wenn früher in den Schächten die Steiger Hunde\*, wie wir Sie zu nennen pflegen, gehabt hätten, welche wohl ein Knabe von 10 Jahren oder 12 Jahren hat ziehen können, so wird jetzt auf dieselben Hunde eine so schwere Bürde gelegt, wegen der großen Last die in die Körbe geht, daß es den Jungen unmöglich wird, sie zu ziehen."

(aus: Jonas u.a., S. 202)



Mädchen mit Riemen um den Leib und über die Schultern zieht einen Hund (aus: Die gesellschaftliche Wirklichkeit der Kinder, S. 117)

Über die Arbeit der Kinder im Mansfeldischen Bergbau existieren keine Bildquellen. Die Arbeit der Treckejungen wird aber deutlich aus dem Bild aus dem englischen Kohlebergbau von 1840, wo ein Mädchen einen vergleichbar schweren Hund ziehen muß. Das Bild zeigt auch, daß sich trotz der über 200 Jahre die zwischen beiden Darstellungen liegen und trotzdem der industriellen Revolution sich für Kinder im Bergbau grundsätzlich wenig verbessert hat.

\* Hunde oder Schleppehunde wurden die Transportkästen genannt, in die die Berge (Gestein) oder Erze vor Ort eingefüllt wurden.

(aus: Jonas u.a., S. 401)

Fragen:

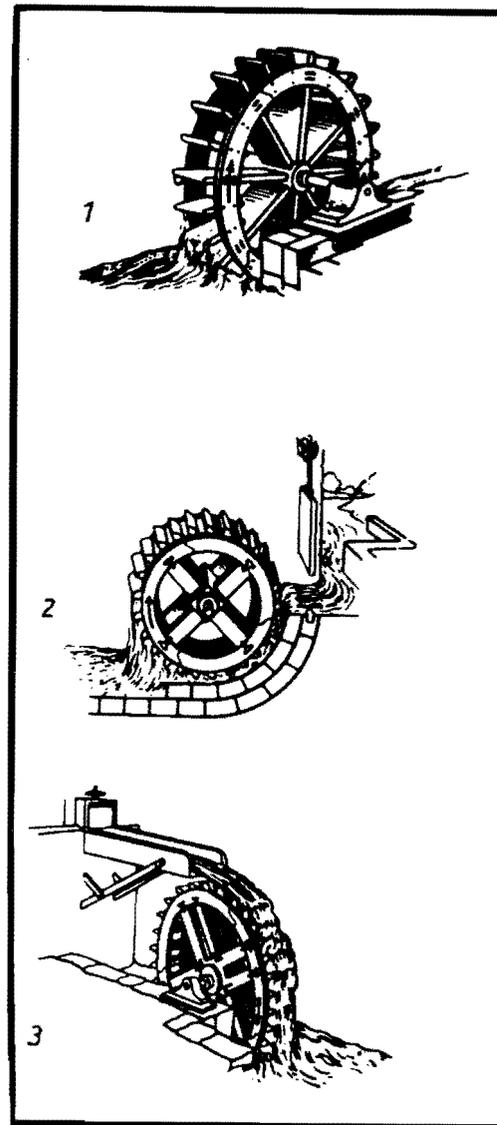
1. Welche Folgen hatte die Großproduktion für die Bergleute?
2. Nenne Gründe dafür, daß sich die Großproduktion durchsetzen konnte. (Das steht nicht in diesem Textblatt)
3. Warum nahm man Kinder statt erwachsener Männer, um die Hunde zu ziehen?

Drei Arten von Wasserrädern haben unterschiedlich große Kraft

1. unterschlächtiges Wasserrad
2. mittelschlächtiges Wasserrad
3. obereschlächtiges Wasserrad

Fragen:

1. Welches der drei Wasserräder hat nach Deiner Meinung die größte Kraft? Versuche Deine Ansicht zu begründen!
2. Das erste und das dritte Wasserrad sind etwas unterschiedlich gebaut. Welche Bauunterschiede müssen nach Deiner Meinung diese Räder haben? Weshalb?
3. Welches der drei Räder braucht die größten Wasserbaumaßnahmen? Welches kann einfach in einen Bach gehängt werden?
4. Baut etwa gleich große Modelle eines unterschlächtigen und eines obereschlächtigen Wasserrades. Hebt mit ihnen über Garnrollen als Seilwinden (auf der Welle aufgesteckt) Gewichte und vergleiche die Leistung.
5. Welche Räderart wird im Bergbau am meisten verwendet? Schaut Euch dazu nochmal die Bildquellen an. Warum wohl?



(aus: Jonas u.a., S. 205)

Eventuell abdecken vorm kopieren!

Seit der Antike ist das unterschlächtige Wasserrad bekannt (vgl. das chinesische Schöpfrad bzw. die Noria). Zwischen dem achten und dem 10. Jahrhundert verbreitete sich das unterschlächtige Wasserrad vor allem als Antrieb für Mühlen. Unterschlächtig "bedeutet, daß das fließende Wasser die Schaufeln des Rades an seinen untersten Stellen trifft. Das Rad wird also einfach in das strömende Wasser hineingelegt. Zur Übertragung der Bewegung eines solchen Wasserrades mit waagerechter Welle auf einen Mühlstein mit senkrechter Welle ist eine Übersetzung, ein Zahnradwinkelgetriebe, notwendig, wie es auch schon in der Antike bekannt war (Vitruv, 1. Jh. n. Chr.).

Das obereschlächtige Wasserrad breitete sich erst seit dem 14. Jahrhundert, also mehrere Jahrhunderte später als das unterschlächtige aus. Das Wasser stürzt von oben auf das Rad und setzt es durch sein Gewicht in Bewegung. Bei gleichen Wassermengen und gleichen Abmessungen leistet es etwa doppelt so viel wie das unterschlächtige Rad, da die gesamte durchlaufende Wassermenge auf die Schaufeln drückt und weniger Wasser vorbeiläuft als beim unterschlächtigen Rad."

(aus: Varchmin, S. 24 f)

Die Mechanisierung in der Bergbauförderung und Entwässerung -  
Erleichterung der Arbeit oder Erhöhung der Profite?

Um ihre Gewinne zu erhöhen, ließen die Besitzer und die Anteilseigner von Bergwerken die Stollen immer tiefer treiben.

"Für die Bergarbeiter wurden dadurch die Arbeitsbedingungen immer schlechter, denn sie mußten mit schlechter Luft, größeren Wassermengen und ständig zunehmenden Förderhöhen fertig werden. Das Wasser brauchte nur dann nicht gehoben zu werden, wenn das Bergwerk über der Sohle eines Tals lag, zu dem ein Stollen getrieben werden konnte, der das Wasser ableitete. Anderenfalls mußte es wie das Erz gehoben werden. Matthesius, ein Joachimsthaler Pfarrer, predigte zwischen 1553 und 1562 den Bergleuten:

"Bergarbeit ist eine Roßarbeit, und mancher hebt an schweren Berg- und Wasserhaspeln, daß er nicht allein Blut auswirft, sondern zeucht oft auch den Hals gar daran ab, da er mutternackt einen ganzen Tag stehen und das Wasser halten und seine gesetzte Schicht auffahren muß. Nun ist das auch eine Gnade und Gabe Gottes, daß Gott Euch den sauren Nasenschweiß, so von der Sünde wegen menschlichem Geschlecht aufgeseilet, dennoch mit nützlichen Instrumenten und Künsten lindert und spannt ein Roß an der Leute statt und läßt durch Wasser ... Wasser und Berg aus den Tiefsten mit schönen Künsten heben und treiben, damit die Unkost auch geringert und die verborgenen Schätze desto eher erfunden und offenbar werden.

Diese Wohltat, daß Vieh und Element zu frönen und auch ihre Schicht fahren und viele künstliche Köpfe dem Bergwerk mit ihrer Erfindung nützlich dienen, ist bei Gott dankens- und bei der Welt rühmens- und vergeltenswert. An einem schweren Haspel einen ganzen Tag stehen und dabei viel Umschlag um einen Pfennig tun müssen und oft vom Haspel gerückt und vom Haspeldorn geschlagen zu werden, ist eine saure Nahrung. Desgleichen, da ihrer zweien eine Schicht viel Schock Wasser, da ein Zuber fast einen Eimer hält, herausziehen, kost auch viel Leibs und zeucht Einem wieder das Mark aus Armen und Beinen heraus. Nun hat Gott Künstler geben, die ehrliche Vorteil und Hülf gemacht, damit es etwas leichter und mit einem Vortheil zugehe. Item, daß man runde Scheiben und Räder anrichtet mit ihren Scheibenspillen, Kammrädern, Fürgelegen oder Getrieben und Leisten, damit nicht allein die Arme und Seiten, sondern Füße und der ganze Leib auch Berg und Wasser heraustrreten und heben, das ist auch dankenswerth. So ist der Göpel auch eine schöne Kunst, da man mit Rossen Berg und Wasser zu Tag austreibt und in einer Schicht mehr herausfördern kann, als an zwanzig Haspeln. Also auch die Roßkunst mit der Premscheibe (Bremscheibe, d. Verf.)...

Ein geraumer und verwahrter Stollen mit seinem Gerinn und Dreckwerk zugerichtet, ist freilich die schönste Kunst auf dem Bergwerk, denn solcher, der nimmt Wasser und bös Wetter (schlechte Luft) und bringt gut Wetter und giebt leichte Förderung mit Truhen und Hunden (diese Hunde sind kleine, im Bergwerk benutzte Wagen; d. Verf.), derfür Bergleute unserem Gott auch danken und ihre Steuer, vierten Pfennig und neuntes, willig, schleunig und treulich reichen und dargeben sollen. Wo man aber Stollen nicht anbringen kann, da haben Wasserkünste ihren Preis, wenn man Wasser mit Kannen hebt an der Scheibe oder mit einem Rad, welches die Leute treten, oder da man mit Wasser und Wind über sich bringt.

Wo Wasser in Gründen fließen, kann man durch ein Zeug das Wasser über sich treiben und also auf Schlösser und Höhen bringen, wie solche Wasserkünste an vielen Orten angerichtet sind..."

Die hier zitierten Teile der Predigten des Matthesius beziehen sich auf Haspel- und Kunstknechte, von denen die Transportmaschinerie des Bergwerks mit Haspeln und Treträdern in Bewegung gesetzt wurde. Im Gegensatz zu den Knappen, deren handwerkliche Arbeit vor Ort unverändert blieb, waren sie als Motor der Förderanlagen Bestandteil der Maschinerie des Bergwerks. Wenn ökonomische Gründe oder eine ungünstige geographische Lage den Einsatz von Tier- oder Naturkraft nicht zuließen, mußten sie in Lohnarbeit die Hebemaschinen für Wasser und Erz und die Gebläse für die Versorgung der Stollen mit Frischluft antreiben. Um ihre Arbeitskraft auch gänzlich ausbeuten zu können, wurden von den Ingenieuren der damaligen Zeit, den 'Künstlern', Mechanismen (Tretscheiben, Treträder etc.) konstruiert, mit denen 'nicht allein die Arme und Seiten, sondern Füße und der ganze Leib auch Berg und Wasser heraustreten und heben' sollten. Ob die Bergleute das auch so 'dankenswerth' fanden wie ihr Bergprediger, der letztlich -und ohne daß er 'sauren Nasenschweiß' abzuwischen hatte- von ihrer Arbeit lebte, ist sehr zweifelhaft. Die Lohnkämpfe und bewaffneten Aufstände der Bergleute sprechen dagegen. Matthesius versuchte, die dem Profitinteresse der Regalherren und Kuxinhaber\* dienende Mechanisierung als Geschenk der Unternehmer hinzustellen: Angeblich trieben sie trotz 'großer Unkost' die Mechanisierung voran, um den Bergarbeitern die Arbeit zu erleichtern...

In einem ohne Mechanismen betriebenen Bergwerk wurde mit zunehmender Tiefe und Stollenlänge eine ständig wachsende Anzahl an Bergleuten benötigt. So wurde bereits im Mittelalter 'die Zahl der Arbeiter in einem großen Bergwerk nach Tausenden berechnet, namentlich in Silberbergwerken...' Selbst bei unveränderter Anzahl der die Stollen vorantreibenden Hauer nahm die Zahl der Transportarbeiter mit wachsender Stollenlänge und -tiefe unvermeidlich zu. Die Menge des gebrochenen Erzes hing jedoch ausschließlich von der Arbeitskraft der Hauer ab. Mit zunehmender Größe des Bergwerks stiegen daher beständig die Lohnkosten pro Menge gewonnenen Metalls, wodurch die Profit gedrückt wurde. Um die Lohnkosten zu senken, ersetzte man daher einen Teil der Bergleute aus dem Transportsektor durch die von Pferdegöpel, mit Wind- oder Wasserkraft angetriebene Maschinerie, oder die Arbeit wurde intensiviert, indem entsprechend konstruierte Mechanismen dem einzelnen Arbeiter eine höhere Arbeitsleistung pro Schicht abverlangten.

(aus: Biesecker, Bernd: Industrielle Frühformen im mittelalterlichen Bergbau, in: Technologie und Politik, Reinbek/Hamburg 1980, S. 232-236)

Welche Funktion hat nach Eurer Ansicht die Predigt des Pfarrers Matthesius?

Wie schätzt Ihr nun zusammenfassend die Fördertechnik im Bergbau ein?

\* Grundherren (Fürsten, Grafen etc.) und Aktionäre

V Literatur

- \* Agricola, Georg: Vom Berg zum Hüttenwesen, München (DtV) 1977
- Bernal, John Desmond: Sozialgeschichte der Wissenschaft - Science in History (4. Bd.), Reinbek, rororo 1970
- Biesecker, Bernd: Industrielle Frühformen im mittelalterlichen Bergbau, in: Duve, F. (Hrsg.): Technologie und Politik 16, Juni 1980 (rororo aktuell). Demokratische und autoritäre Technik. Beiträge zu einer anderen Technikgeschichte, S. 222 bis 249
- Buddensiek, Wilfried: Pädagogische Simulationsspiele im sozio-ökonomischen Unterricht der Sek.I; Theoretische Grundlegung und Konsequenzen für die unterrichtliche Realisation, Stuttgart 1979
- Brämer, Rainer: Physik; in: Materialien zur Empirie des naturwissenschaftlichen Unterrichts - Ergebnisse eines Seminars; Hrsg. Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Erziehungswissenschaften, verf. Man. Marburg 1979
- \* Christmann, Helmut: Technikgeschichte in der Schule; Berlin 1976
- Delle, Ernst: Arbeit und Energie - Ein Unterrichtsvorschlag unter besonderer Verwendung von historischen Bild- und Testquellen für Schüler in der Sek.I masch. verf. Man.; o.O. 1978
- Engels, F.: Die Lage der arbeitenden Klasse in England, in: Karl Marx Friedrich Engels Werke, Bd. 2, Berlin (DDR) 1972, S. 224 bis 506
- Eggebrecht, Arne u.a.: Geschichte der Arbeit - Vom alten Ägypten bis zur Gegenwart, Köln 1980
- Feldhaus, F.M.: Die Technik - Ein Lexikon der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker, München 1970
- Fina, Kurt: Technikgeschichte im Unterricht der Hauptschule - Einführung in die Methoden des Schülergesprächs (Ein Kurs), in: Welt der Schule (Zs), Okt. 1978

- Grotelüschchen, W. /  
Schüttler, A. (Hrsg.): Dreimal um die Erde -Erdkundliche Einzelbilder, Band 1; Geographische Verlagsgesellschaft Velhagen & Klasing und Hermann Schroedel GmbH & Co. KG, Berlin 1968/73
- Hendrichs, Franz: Der Weg aus der Tretmühle - Ein Abriß der Geschichte der Technik der Neueren Zeit, Düsseldorf 1966
- \* Jonas, Wolfgang u.a.: Die Produktivkräfte in der Geschichte 1; Von den Anfängen in der Urgemeinschaft bis zum Beginn der Industriellen Revolution; Berlin 1969
- Keller, E. / Wolters, G: Einfache Maschinen, in: Friedrich, A. (Hrsg.): Handbuch der experimentellen Schulphysik, Band: Mechanik der festen Körper, Köln 1962, S. 32-61
- Klaus, G. / Buhr, M.: Philosophisches Wörterbuch, Leipzig 1970
- Klemm, Friedrich: Technik - Eine Geschichte ihrer Probleme, Freiburg/München 1954
- Klemm, Friedrich: Zur Kulturgeschichte der Technik, Aufsätze und Vorträge 1954-1978, München 1979
- \* Landels, John Gray: Die Technik in der antiken Welt, München 1978
- Lanz, G.: Die Errichtung eines Obeliskens - Ein Beitrag zum Thema "Einfache Maschinen" im Unterricht der Hauptschule, in: Naturwissenschaft Physik, Chemie, Biologie im Unterricht (Zs.), H. 10/1976
- Lebout-Barrel, L.: Mechanische Begriffe von Jugendlichen, in: Physica didact. (Zs.), H. 2/1978
- Marx, K.: Kapital I, Marx/Engels Werke (MEW), Band 23, Berlin (DDR)
- Mumford, Lewis: Mythos der Maschine - Kultur, Technik und Macht; Reihe fischer alternativ, Nov. 1977
- Needham, Joseph: Wissenschaftlicher Universalismus - Über Bedeutung und Besonderheit der chinesischen Wissenschaft, Frankfurt/M. 1977
- Neuburger, Albert: Die Technik des Altertums, Leipzig 1921

- Neue Gesellschaft für Bildende Kunst E.V. und Staatliche Kunsthalle Berlin: "Die gesellschaftliche Wirklichkeit der Kinder in der bildenden Kunst", Berlin 1979
- \* Patzelt, Otto: Triumph des Rades - Geschichte und Bedeutung einer Erfindung, VEB Verlag Technik, Berlin o.J.
- Sachsse, Hans: Anthropologie der Technik - Ein Beitrag zur Stellung des Menschen in der Welt, Braunschweig 1978
- Schietzel, Carl (Hrsg): Lernbereich Technik, Braunschweig 1976
- Skasa-Weiß, Eugen: Wunderwelt der Technik im Deutschen Museum, München 1975
- \* Smith, Normann: Mensch und Wasser - Von den Pharaonen bis Assuan, München 1978
- \* Sonnemann, Rolf (Hrsg): Geschichte der Technik, Leipzig 1978
- Ullrich, Otto: Technik und Herrschaft - vom Handwerk zur verdinglichten Blockstruktur industrieller Produktion - , Frankfurt / Main 1977
- Ullrich, Otto: Weltniveau - In der Sackgasse des Industriesystems, Berlin 1979
- \* Varchmin, Jochim / Radkau, Joachim: Kraft, Energie und Arbeit - Energie, Technik und Gesellschaft im Wechsel der Zeiten, Reinbek (rororo) 1981
- Varchmin, Jochim: Energiequellen und Energieumwandlung - Historische Entwicklungen in Naturwissenschaft und Technik, Deutsches Museum München 1978
- Wittfogel, Karl, A.: Die Orientalische Despotie - Eine vergleichende Untersuchung totaler Macht, Frankfurt / Main 1977
- \* Die mit einem Stern gekennzeichneten Veröffentlichungen enthalten weitere brauchbare Bildquellen einfacher Maschinen.