

FIG. 13.—The water screw.

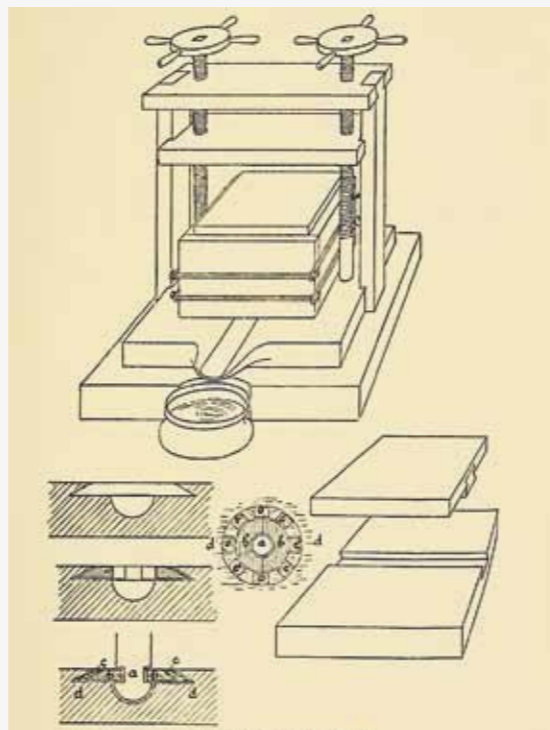


FIG. 12.—Small screw press.

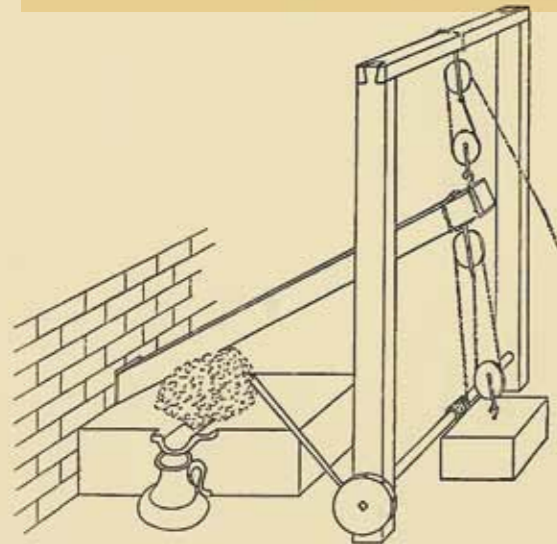


FIG. 9.—Beam press with windlass.

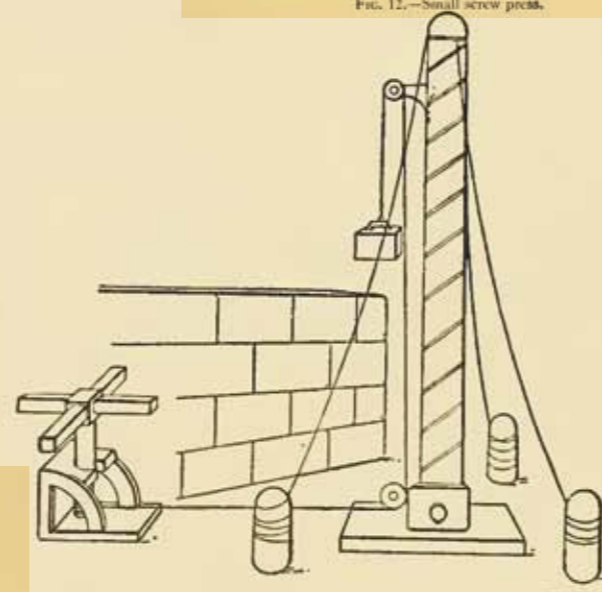


FIG. 6.—Crane with a single mast.

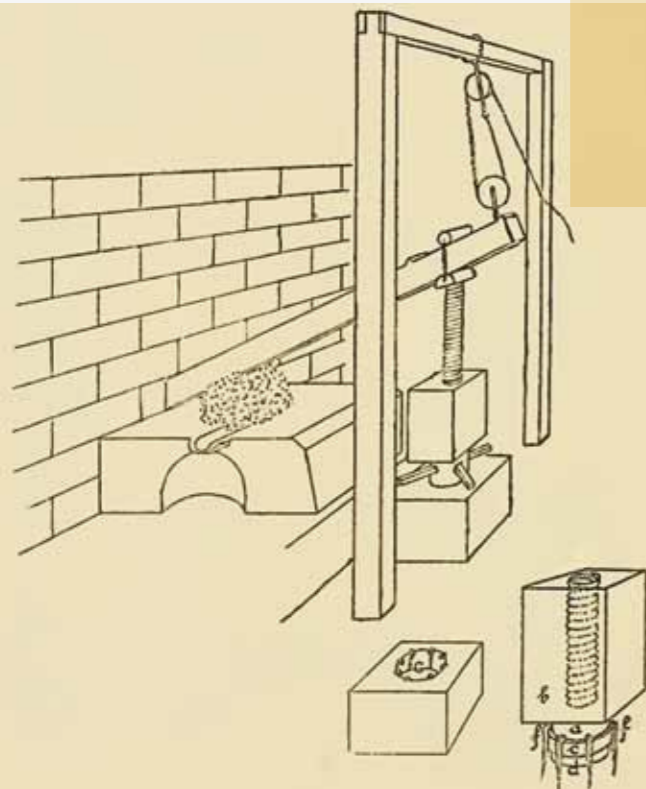


FIG. 11.—Beam press with screw.

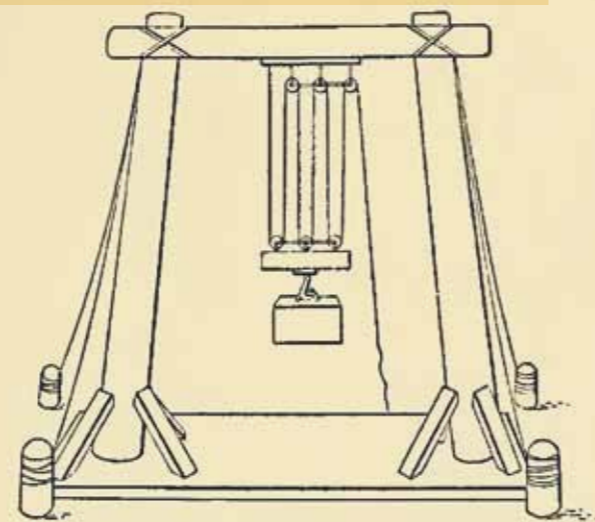


FIG. 7.—Crane with two masts.

# Auf den Schultern von Riesen

## EINFACHE MASCHINEN ALS FUNDAMENT DER MODERNE

Das Auto ist eine jener Maschinen, die den Fortschritt des 20. Jahrhunderts symbolisieren. Kraftvoll und schnell bewegt es uns in fünf Stunden etwa von Genf nach Paris. Noch im 19. Jahrhundert benötigte eine Postkutsche drei volle Tage für diese Strecke. Doch das Auto wäre nicht denkbar ohne technische Errungenschaften, die namenlose Erfinder bereits vor Jahrtausenden machten: die einfachen Maschinen. Am offensichtlichsten sind die Räder mit Achsen, der Blick unter die Motorhaube offenbart Rollen, über die Keilriemen laufen, und im Getriebe finden wir Zahnräder, die eine Kombination aus Keilen und Hebel an einer rotierenden Stange sind.

Systematisch erfasst wurden die einfachen Maschinen bereits in der Antike in einer Schrift Herons von Alexandria, eines griechischen Mathematikers und Ingenieurs des ersten nachchristlichen Jahrhunderts. Neben Rad, Rolle, Hebel und Keil führte Heron die Schraube auf. Im Mittelalter in Vergessenheit geraten, wurde sein Text in einer arabischen Übersetzung in

der Renaissance wiederentdeckt. Die Ingenieure jener Epoche fügten noch die schiefe Ebene zu den einfachen Maschinen hinzu. Gemeinsam ist diesen, dass sie die Grundbausteine jeder komplexeren Maschinenmechanik sind – heute würden wir sie jedoch eher als Maschinenelemente bezeichnen. Fast ein wenig trivial erscheinen sie uns im Informationszeitalter. Und doch sind sie das Fundament, auf dem die technische Zivilisation entstand.

Der Hebel verlagert den Ansatzpunkt einer Kraft, vergrößert sie und kehrt dabei ihre Richtung um. Die Rolle lenkt eine Kraft über ein Seil in eine andere Richtung. Sie ist nicht denkbar ohne das Rad mit Achse, das eine Kraft in eine geradlinige Bewegung umsetzt. Die schiefe Ebene verringert einen Kraftaufwand, indem sie die Richtung der Kraft verändert. Keil und Schraube sind streng genommen nur Variationen der schiefen Ebene: Während der Keil gewissermaßen eine bewegliche schiefe Ebene bildet, ist diese in der Schraube um eine Stange gewandelt. Letzteres

musste sowohl Heron als auch den klugen Köpfen der Renaissance noch entgehen, weil ihnen das systematische Verständnis der modernen Physik für Kräfte und Bewegungen fehlte.

Als Heron sein Werk *Mechanica* verfasste, hatten die einfachen Maschinen bereits eine lange Geschichte hinter sich. Allerdings kamen sie nicht auf einen Schlag in die Welt. Am Anfang war der Keil. Bereits vor mehr als zwei Millionen Jahren nutzten ihn, wenn noch in einer sehr rudimentären Form, frühe Menschenarten in Zentralafrika, wie Funde am Turkana-See in Kenia belegen. Der Keil entwickelte sich von da an zum mächtigen Werkzeug: Er wandelte sich zunächst zu Messern und Äxten, die lange Zeit aus Stein bestanden. In der Bronzezeit wurde das Messer schließlich länger – das Schwert war geboren. Bereits hier zeigt sich, dass technische Findigkeit immer auch eine militärische Seite hatte. Nicht anders beim Rad: Als es vor über 5000 Jahren in Westasien auftaucht, wird es nach einigen Jahrhun-



derten für den Bau von Streitwagen eingesetzt. Die wiederum änderten ab 1800 vor Christus die Kriegsführung drastisch, weil Krieger sich nun in einem zuvor nicht gekannten Tempo bewegen und dabei doch aufrecht kämpfen konnten.

## STARKE BAUMEISTER

Die Weiterentwicklung des Keils ist jedoch nicht nur eine blutige Geschichte aus Jagd und Krieg. In der sogenannten neolithischen Revolution wird er zum Bestandteil des Pflugs: Die Pflugschar hilft den Ackerboden effektiver als zuvor umzugraben und damit die Landwirtschaft zu verbessern. Von Ochsen gezogene Pflüge nehmen den Bauern einen Teil ihres mühsamen Tagewerks ab. Dies geschah wahrscheinlich zuerst in Mesopotamien und im Indusland vor über 7000 Jahren. Dort entstanden mit einer ertragreicheren Landwirtschaft die ersten städtischen Kulturen, die es sich leisten konnten auch Menschen wie Handwerker und Beamte zu ernähren, die nicht unmittelbar an der Landwirtschaft beteiligt waren.

Der Städtebau des frühen Altertums bringt schliesslich die ersten Monumentalbauten hervor. Die Spektakulärsten sind sicher die ägyptischen Pyramiden. Nach heutigem Forschungsstand kamen bei ihrem Bau zwei einfache Maschinen zum Einsatz: die schiefe Ebene und das Rad. Die viele Tonnen schweren Steinquadern wurden aus den Steinbrüchen am oberen Nil mit Barken zu Landeplätzen verschifft, wo sie auf Holzbalken umgeladen wurden. Diese bildeten als massive, starre Holzräder ein einfaches Gleitlager mithilfe dessen Hunderte von Arbeitern die Blöcke über eine sanft ansteigende Rampe zur Baustelle und von dort auf das entstehende Bauwerk in die Höhe zogen.

Dass die Ägypter auf diese Weise in 20 bis 30 Jahren die Cheops-Pyramide errichteten (im 26. Jh. v. Chr.) zeigt, zu welchen Leistungen die Menschen des Altertums

bereits mit einfachen Maschinen in der Lage waren. Leistungen, die etwa der spanische Philosoph José Ortega y Gasset in seinen Meditationen über die Technik (1939) gering schätzte, wenn er den Pyramidenbau als Beispiel für eine «Technik des Zufalls» bezeichnete, in der noch ohne konkreten Plan in einem «totalen» Akt konstruiert worden sei. Ein solches Urteil, gelesen mit dem heutigen Wissen um einen wissenschaftlich fundierten Maschinenbau, wird dem Ingenieur früherer Zeitalter, in denen der Innovationsdruck der Industriegesellschaft schlicht fehlte, kaum gerecht. Mit dieser Sichtweise bestehe «die Gefahr, die technischen Errungenschaften älterer Epochen zu unterschätzen, ja zu verkennen», sagt der Historiker Helmuth Schneider, der die Frühgeschichte der Technik erforscht hat.

## ROLLENDER FORTSCHRITT

Es dauerte nach dem Pyramidenbau noch einmal mindestens anderthalb Jahrtausende, bis eine elegantere Hebemethode als die schiefe Ebene auftauchte: der Flaschenzug, der auf der Rolle basiert. Die einfache Ausführung mit einer Rolle ist in der westlichen Hemisphäre im 10. Jahrhundert v. Chr. im Zweistromland auf einem assyrischen Relief belegt. Es waren dann die Griechen, die den Flaschenzug zu einer mächtigen Maschine weiterentwickelten, indem sie ein Seil über mehrere Rollen laufen liessen. Mit drei Rollen beispielsweise, über die vier Seilstränge laufen, kann man einen Gegenstand mit einer Kraft anheben, die nur einem Viertel seiner Gewichtskraft entspricht. Mit dem einfachen Flaschenzug wäre noch die volle Gewichtskraft aufzuwenden. Der Mehrfach-Flaschenzug wird Archimedes (287 – 212 v. Chr.), dem wohl bedeutendsten Erfinder der Antike, zugeschrieben.

Dass die einfachen Maschinen gerade im antiken Griechenland Fortschritte machten, hat mehrere Gründe. In der ar-

chaischen Periode, zwischen 800 und 500 v. Chr., begannen die Griechen nach längerer Unterbrechung wieder ihren Handel mit den grossen Mächten in Ägypten und Mesopotamien aufzunehmen, ohne von diesen bedroht zu werden. Die Griechen brachten so technisches Wissen nach Hause. Mit dem Aufstieg der griechischen Stadtstaaten in der klassischen Periode (500 bis ca. 330 v. Chr.) begannen deren Oberschichten Tempel, Paläste und öffentliche Gebäude zu errichten. Die Griechen übernahmen dafür die Bauweise ihrer Vorbilder: Statt aus Ziegeln wurden massive Steine verbaut, die bewegt werden mussten – der Flaschenzug erleichterte dies. Mit dem Zuzug in die Städte konnten sich viele Menschen nicht mehr wie zuvor als Subsistenzbauern selbst ernähren und dies zog einen Aufstieg des ursprünglich als nieder angesehenen Handwerks als Einkommensquelle nach sich. Auch diese demographische Entwicklung begünstigte die Verbesserung von Werkzeugen und die Kombination einfacher zu zusammengesetzteren Maschinen wie etwa der Olivenpresse.

## CLEVERE ARRANGEMENTS

In einer frühen Form musste der Bauer mit einem langen Hebel eine Pressplatte nach unten drücken, um die darunterliegenden Oliven auszuquetschen. Der Hebel ermöglichte über den Hebelarm, mit relativ wenig Kraft einen erheblichen Druck in der Presse aufzubauen. In einem weiteren Entwicklungsschritt verband man das Hebelende mit einer grossen Holzschraube. Drehte man diese, wurde der Hebel nach unten gezogen. So liess sich der menschliche Krafteinsatz weiter verringern. Um die Zeitenwende wurde schliesslich die bekannte Form der Presse – die viel später auch den Buchdruck ermöglichte – erfunden: Die Schraube sass nun in einem Querbalken über der Presse und drückte die Pressplatte direkt senkrecht nach unten.

Erstaunlicherweise ist die Schraube in der Antike nicht als Verbindungselement verwendet worden, so wie sie heute selbstverständlich Bücherregale oder Gehäuse von Elektrogeräten zusammenhält. Archimedes nutzte sie jedoch zu einer anderen cleveren Erfindung: als Fördermittel für Wasser. Die Schraube befand sich in einem Holzrohr, das in ein Wasserreservoir herabgelassen wurde. Drehte man die Schraube, deren Kanten mit dem Innenrohr dicht geschlossen, stieg in den sich wendelnden Zwischenräumen der Schraube Wasser empor. Die archimedische Schraube ist damit der Vorläufer des Schneckenriebs, wie er heute etwa im Spritzguss verwendet wird. In der Antike nutzte man sie bald zur Entwässerung in Bergwerken.

Eine weitere Kombination aus einfachen Maschinen arbeitete ebenfalls mit Wasser: die Wassermühle. In der aufrechten Variante wird ein Mühlrad durch Wasser in Bewegung versetzt. Das Wasser fällt entweder von oben auf das Rad oder treibt es in der Flussströmung von unten an. Die Bewegung wird über eine Achse auf ein Zahnrad übertragen, das sie an ein waagerechtes zweites Zahnrad überträgt. Dieses bewegt dann einen Mühlstein. Während erste Wassermühlen in China schon im dritten Jahrhundert v. Chr. auftauchen, kommen sie im römischen Reich ab dem ersten Jahrhundert v. Chr. auf. Neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass Wassermühlen gegen Ende des römischen Reiches bereits weit verbreitet waren.

Die Wassermühle ist vor allem deswegen bemerkenswert, weil in ihr zum ersten Mal nicht mehr die Muskelkraft von Tieren oder Menschen eine Maschine antrieb. Im frühen Mittelalter breitete sich die Wassermühle dann im gesamten westlichen Europa bis auf die britischen Inseln aus. Zusammen mit den etwas jüngeren Windmühlen trieben sie die Wirtschaft des Hochmittelalters massgeblich an – und zwar in einem Ausmass, das ihren Einsatz in der Antike weit übertraf. Indem sie die

Getreideproduktion beschleunigten, trugen sie zu dem rasanten Bevölkerungswachstum im Hochmittelalter bei. Zählte allein Frankreich um 1100 rund sechs Millionen Einwohner, waren es 1300 bereits 20 Millionen.

Dass es dann im 14. Jahrhundert zu einem wirtschaftlichen Einbruch in Westeuropa kam, hat der französische Historiker Fernand Braudel auch damit erklärt, dass die Mühle als Energiequelle ausgereizt war. Die Mechanik der einfachen Maschinen liess sich nicht beliebig skalieren. Die Zahl der Mühlen pro Einwohner – rund 250 – blieb bis 1800 konstant, als mit der Dampfmaschine ein neues Kapitel der Technik eröffnet wurde: Die thermisch angetriebene Maschine, die weder Antike noch Mittelalter gekannt hatten.

## STROMLOSE ALTERNATIVE

Das 19. Jahrhundert wurde zur Zäsur: Neben den thermischen entstanden die elektrischen Maschinen, aus denen wiederum die elektronischen Maschinen des 20. Jahrhunderts hervorgingen. Diese brachten die maschinelle Informationsverarbeitung auf ein zuvor undenkbares Niveau. Zwar kannte schon die Antike informationsverarbeitende Maschinen, die rein mechanisch funktionierten: die Astrolabien oder den hochkomplexen Mechanismus von Antikythera, mit denen man einfache astronomische Berechnungen vornehmen konnte. Und die von Charles Babbage 1837 konzipierte Analytical Engine wäre, hätte er den Bau finanzieren können, der erste mechanische, vollwertige Computer der Geschichte gewesen. Die Datenmassen, die elektronische Maschinen heute in jeder Sekunde verarbeiten, hätte jedoch kein Mechanismus der Welt bewältigt.

Entwertet wird die Mechanik der einfachen Maschinen aus vorindustrieller Zeit durch diese Entwicklung jedoch nicht. Am Anfang des 21. Jahrhunderts könnte sie aus zwei Gründen wieder interessant werden. Thermische und elektrische Maschi-

nen benötigen eine konstante Energiezufuhr, die seit 200 Jahren vor allem aus fossilen Energiequellen gespeist wird – mit bedenklichen Folgen für das Erdklima, wie wir heute wissen. Und vor allem die elektrischen Maschinen haben sich zu Black Boxes entwickelt, deren Mechanismus sich nicht mehr direkt, mit den eigenen Sinnen studieren lässt – so wie es die Zeitgenossen des Archimedes mit dessen Maschinen im Prinzip tun konnten.

Dass auch nicht-thermische, nicht-elektrische Maschinen im 21. Jahrhundert von Bedeutung sein könnten, zeigt etwa das Fahrrad, das auf den einfachen Maschinen Rad, Hebel – in Form der Pedale – und Rolle – in Form von Zahnkranz und Kette – basiert. Seine Kraftquelle ist der Mensch, Abgase entstehen nicht, und seine Konstruktion ist so unmittelbar verständlich, dass jeder sie nachbauen kann. Natürlich kann die vorindustrielle Mechanik einfacher Maschinen nicht sämtliche Bedürfnisse der Gegenwart befriedigen. Aber eine Rückbesinnung darauf, dass sie in manchen Lebenslagen – ob für die Mobilität oder im Haushalt – ausgezeichnete Dienste leistet und zugleich Nachhaltigkeit fördert, könnte nicht schaden.

### AUTOR

Niels Boeing, Diplom-Physiker, arbeitet als freier Wissenschaftsjournalist in Hamburg, u.a. für ZEIT Wissen und Technology Review. 2004 veröffentlichte er «Alles Nano?! Die Technik des 21. Jahrhunderts», eine Einführung in die Nanotechnik.

### QUELLEN

KÖNIG, Wolfgang (Hrsg.) (1997): Propyläen Technik Geschichte Band 1. Propyläen.  
ORTEGA y Gasset, José (1939): Meditación de la técnica. Auf Deutsch 1949: Betrachtungen über die Technik. DVA.