

EIN TRETRAD-BAUKRAN FÜR BURG FLECKENSTEIN

Der Vertikaltransport von Lasten ist ein bauablauftechnisch wichtiges Problem. Die alten Kulturen Ägyptens und Mesopotamiens behelfen sich mit schiefen Ebenen oder dem Hochbocken auf schwerpunktnahen Unterstützungen. Doch schon in der griechisch-römischen Antike gehörte der hochaufragende Mast eines Kranes zum typischen Bild einer großen Baustelle. Die Darstellung eines römischen Krans auf einem Grabmal der Familie der Haterier aus dem zweiten Jahrhundert n. Chr. (heute im Museo Gregoriano Profano im Vatikan) zeigt ein Hebezeug von gewaltigen Ausmaßen. Die in dem Antriebs-Tretrad dargestellten Radläufer – Männer, die durch Hochlaufen im Innern des Rades dieses in Drehung versetzen – lassen den Schluß zu, daß der Mast etwa 15,00 m hoch war und das Tretrad einen Durchmesser von 5,50 m besaß.

Die Funktionsweise eines antiken Baukrans war so, daß ein Einzelmast oder Bockmast seitlich und nach hinten mit Seilen und Flaschenzügen an Erdpfählen verspannt wurde. Mittels Haspeln oder Treträdern wurde nun eine Welle gedreht, auf der sich ein Seil aufwickelte, das über die Mastspitze geführt wurde. An dieser hing ein drei- oder fünffrolliger Flaschenzug (Trispastos bzw. Pentaspastos). Eine ausführliche Beschreibung römischer Hebezeuge findet sich bei Vitruv X, 2.

Die Konstrukteure solcher Kräne bedienten sich in einfacher, aber geschickter Weise der physikalischen Hebelgesetze (siehe auch Vitruv X, 3), indem sie die aufzubewegende Hubkraft durch Verlängerung des Kraftarmweges reduzierten.

Die Wirkungsradien der Kräne waren begrenzt, der Bockkran konnte lediglich die Neigung des Kranmastes variieren,

während der Einzelmastkran durch Veränderung der seitlichen Verspannung eine gewisse Schwenkbarkeit erhielt, doch Vitruv warnt ausdrücklich vor den Gefahren im Umgang mit diesem Hebezeug.

Nach dem Zusammenbruch der römischen Herrschaft scheinen in Mitteleuropa zunächst keine großen Hebe­maschinen mehr für Bauzwecke eingesetzt worden zu sein. Für die im germanischen Raum vorherrschende Holzbauweise waren sie entbehrlich, weil die hierbei anfallenden Lasten von Hand zu bewegen waren. Erst nachdem sich der Steinbau in größerem Umfang durchgesetzt hatte und wohl auch unter dem Eindruck byzantinischer und levantinischer Technik, die ihren Weg im Gefolge der Kreuzzüge nach Europa fand, wurde die antike Form der vertikalen Lastbewegung wiederbelebt und fortentwickelt.

Bildliche Darstellungen der Haspel und des Tretrades sind erst am Ende des Hochmittelalters zu finden. Die Hebeteknik mittels Tretrad verbreitete sich, von Frankreich ausgehend, im 14. Jahrhundert über ganz Mitteleuropa.

Es sind verschiedene Konstruktionsprinzipien zu beobachten. Wenn Tretrad und Mast völlig getrennt voneinander stehen, hat dies den Vorteil, daß z. B. beim Turmbau das Tretrad ins wettergeschützte Erdgeschoß gestellt werden kann, während der Mast mit wachsendem Bauwerk mit nach oben genommen wird, wobei er in jeweils zwei Deckenebenen gehalten wird. Wenn Tretrad und Mast eine konstruktive Einheit bilden, kann die Radachse in den Kranmast integriert sein, sodaß sich beim Schwenken Rad und Mast drehen. Die Schwenkbarkeit beträgt dann 360 Grad. Der Mast kann aber auch frei vor die Radachse

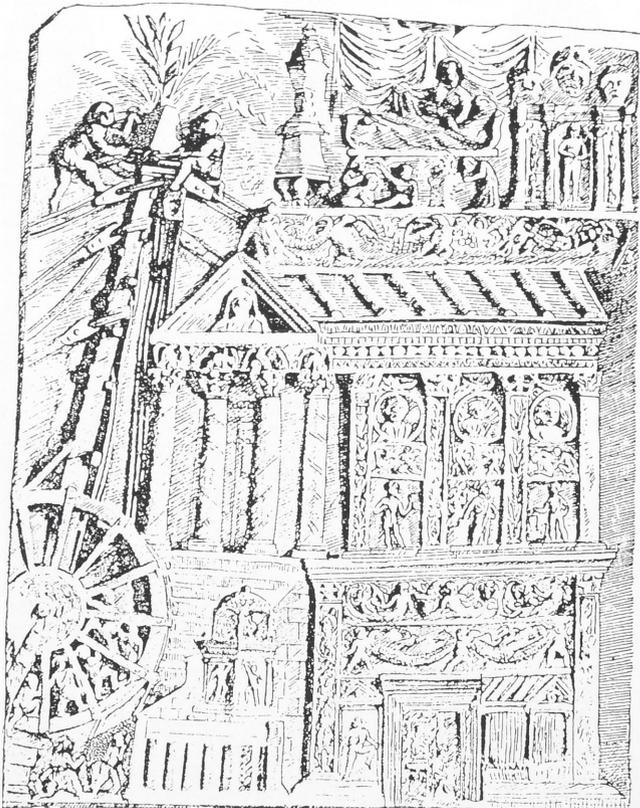


Abb. 1. „Haterierkran“, römischer Großkran aus dem 2. Jh. n. Chr. Relief von einem Grabmal, heute im Museo Gregoriano, Vatikan.

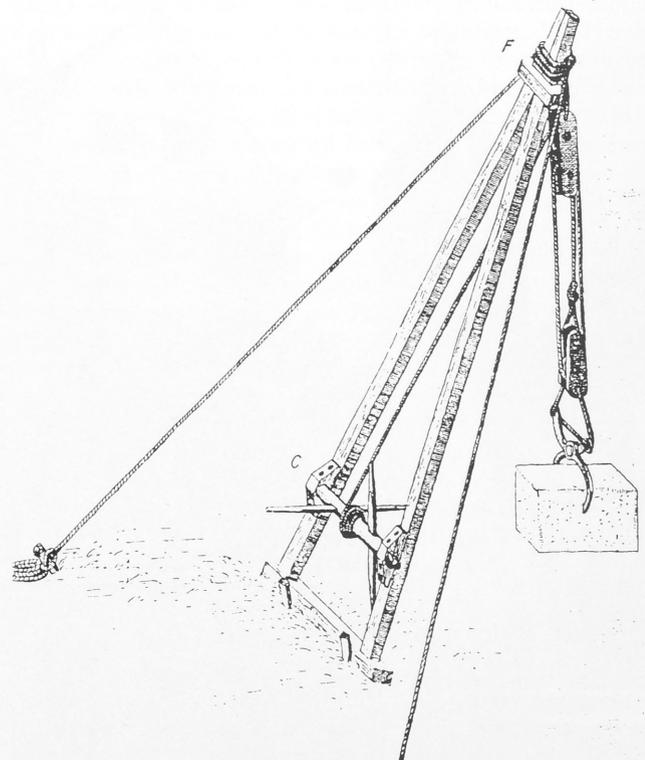


Abb. 2. Römischer Bockkran mit Haspelantrieb, Flaschenzug und Stein­zange. Der Bockkran konnte lediglich die Neigung des Kranmastes variieren, er konnte nicht seitlich schwenken.

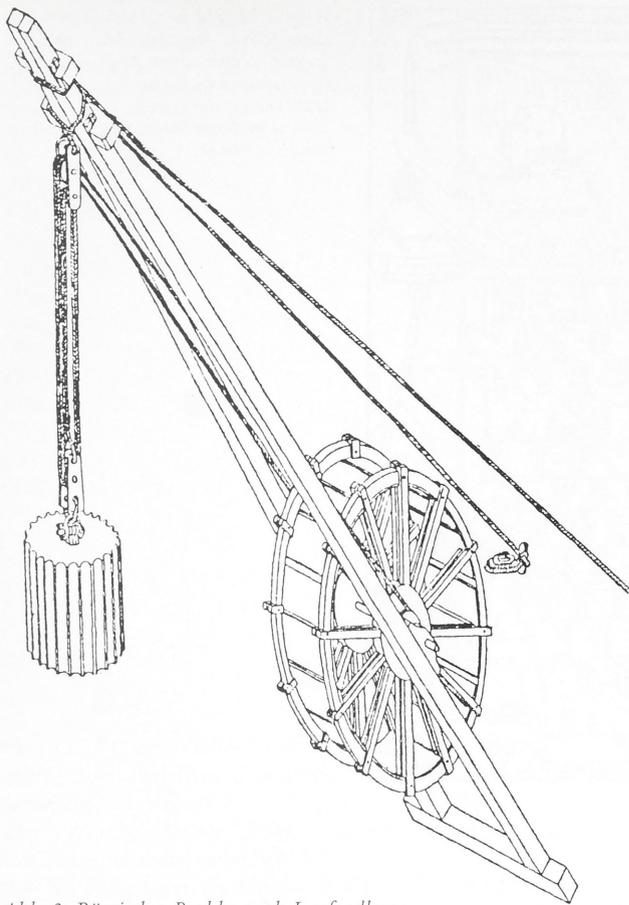


Abb. 3. Römischer Bockkran als Laufradkran.

gestellt sein, dann beträgt die Schwenkbarkeit zwar nur etwa 90 Grad, die Gesamtkonstruktion ist jedoch erheblich einfacher herzustellen. Außerdem besteht die Möglichkeit, den Mast auch außerhalb der Konstruktion separat aufzustellen.

Mittelalterliche Abbildungen zeigen Baukräne in vielen Variationen.

Das Prinzip der vertikalen Lastbewegung mit einem Tretrad war jedoch keineswegs ausschließlich auf die Verwendung als Baukran beschränkt. Tretradkonstruktionen dienten auch als Schiffs- oder Landkräne an den Ufern von Städten an bedeutenden Wasserstraßen. Der Landkran von Andernach, der vorwiegend zum Verladen schwerer Natursteinerzeugnisse diente, war bis zum Jahre 1911 in Betrieb. Die großen Landkräne von Köln sind verschwunden, die in Trier, Andernach und Würzburg sind dagegen erhalten. In Bonn ist ein Schiffskran in einer Zeichnung aus dem Jahr 1587 belegt.

Auch für die vertikale Beförderung von allerlei Lasten im Burgalltag sind Tretradkonstruktionen nachweisbar. In den nordelsässischen Felsenburgen Blumenstein und Fleckenstein sind Felsenkammern erhalten, in denen stationäre Treträder eingebaut waren. Ihre Größe ist an den runden Aushauungen im Felsen ablesbar. Der effektive Raddurchmesser betrug etwa 3,00 m, dies dürfte die Mindestgröße für derartige Hebezeuge gewesen sein.

Beim Erkunden der Tretrad-Felsenkammer auf Burg Fleckenstein ergaben sich Kontakte mit dem örtlichen Syndicat d'Initiative, in deren Verlauf der Verfasser gebeten wurde, ein Tretrad-Hebezeug zu entwickeln, das dann in Originalgröße nachgebaut werden sollte. Es gelang, den Auftraggeber davon zu überzeugen, daß es wenig effektiv sei, ein stationäres Rad in der engen Felsenkammer aufzustellen. Bei Vorführungen hätten nur wenige Besucher aus Platzgründen das Rad sehen können. So fiel

der Entschluß, einen mittelalterlichen Tretrad-Baukran nachzubauen und ihn im oberen Burghof frei aufzustellen.

Das Prinzip des Tretradkrans ist einfach – schwieriger die praktische Erstellung. Mittelalterliche Abbildungen sind meist ungenau und verworren und gestatten nicht einen objektbezogenen Nachbau. Es ist deshalb erforderlich, aus vielen Abbildungen Details zusammenzutragen und daraus ein Hebezeug zu entwickeln, wie es so, oder sehr ähnlich auf mittelalterlichen Baustellen Verwendung fand.

Zunächst mußte sich der Erbauer eines solchen Hebezeuges überlegen, welchem Zweck sein Werkzeug dienen sollte und welche Lasten üblicherweise zu heben waren. Danach richtete sich der Raddurchmesser, die Radbreite – (sollten mehrere Männer im Rad laufen?) –, das Übersetzungsverhältnis und die anderen konstruktiven Einzelheiten, z. B. Form und Größe des Auslegers.

Ein Beispiel: ein Baumeister habe im Normalfall eine Last von 300 kp zu heben, das entspricht etwa dem Gewicht eines Steinquaders von 60 cm Länge, 50 cm Breite und 40 cm Höhe. Wenn ein Mann von 75 kp (= P) Gewicht das Rad in Bewegung setzen will, muß er unter einem gewissen Antrittswinkel sein Körpergewicht auf das Rad wirken lassen. Dabei entsteht eine Tangentialkraft T. Blicke der Mann genau unter der Radachse stehen, so wäre $T = O$. Erreichte er den – theoretischen – Antrittswinkel von 90 Grad, so wäre $T =$ dem Körpergewicht von 75 kp = P.

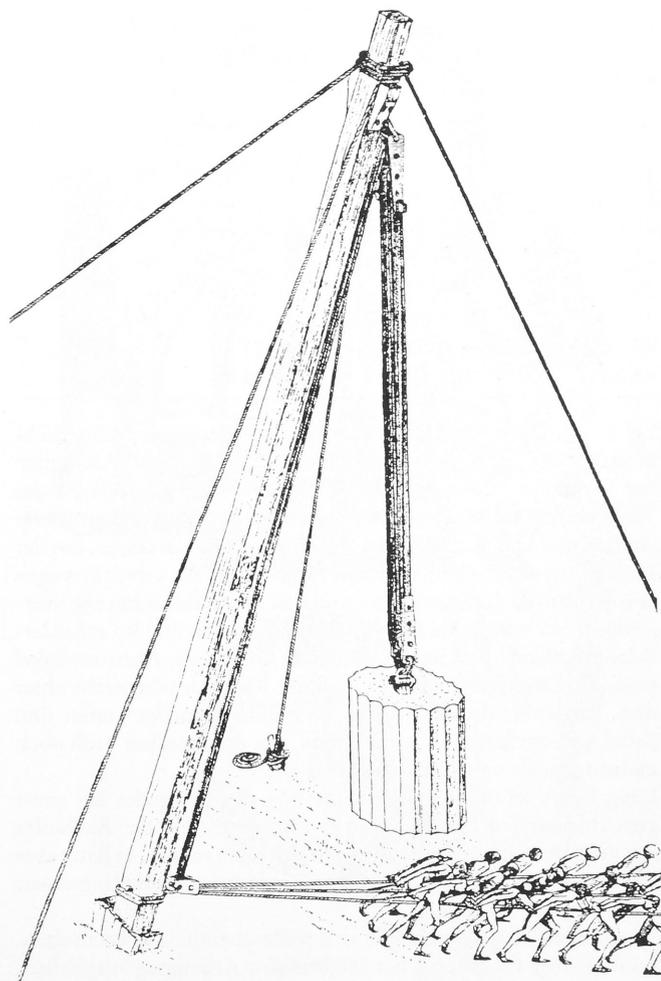


Abb. 4. Römischer Einmastkran. Durch Veränderung der seitlichen Verspannung wurde eine begrenzte Schwenkbarkeit erreicht. Vitruv warnt jedoch nachdrücklich vor den Gefahren im Umgang mit diesem Hebezeug.

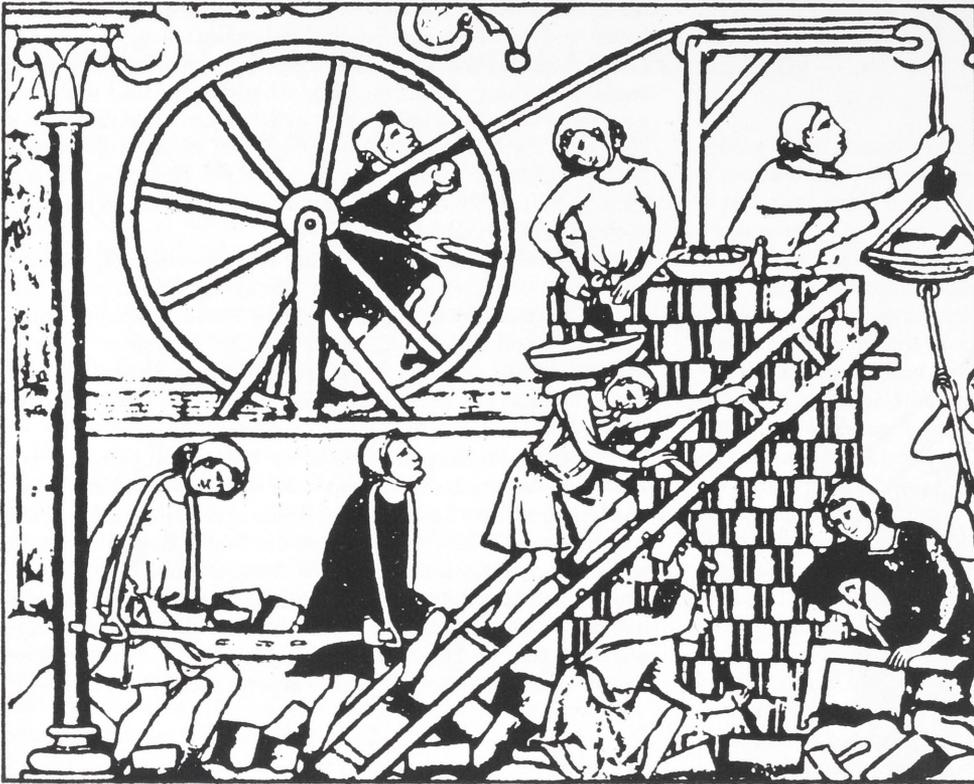


Abb. 5. Englischer Tretradkran aus dem 14. Jb. Rad und Mast sind getrennt. Neben dem Kran sind auch die archaischen Formen des Vertikaltransportes dargestellt, das Tragen von Mörtel und Steinbahren auf einer schiefen Ebene.

Die Tangentialkraft wächst mit wachsendem Antrittswinkel. Sie ist = P mal den Sinus des Antrittswinkels.
Daraus ergibt sich folgende Tabelle:

Antrittswinkel	sin	Tangentialkraft $T = P \times \sin$
10 Grad	0,1736	13,02 kp
15 Grad	0,2528	19,41 kp
20 Grad	0,3420	25,65 kp
25 Grad	0,4226	31,70 kp
30 Grad	0,500	37,50 kp
35 Grad	0,5736	43,02 kp
40 Grad	0,6428	46,21 kp
45 Grad	0,7071	53,03 kp

Bei einem Raddurchmesser von 3,00 m und einem Achsdurchmesser von 0,30 ergibt sich ein Hebelarm von 1 : 10. Abzüglich der Reibungsverluste beträgt die Hubkraft also das 10fache der Tangentialkraft. Im vorliegenden Beispiel könnte der Baumeister ein Rad mit 3,00 m effektivem Durchmesser bauen lassen, das der Radläufer unter einem Antrittswinkel von 25 Grad bewegen würde. Würde der Baumeister nun den Laufraddurchmesser vergrößern, so würde die für die Normallast von 300 kp erforderliche Hubkraft bereits unter einem kleineren Antrittswinkel erreicht. Das hätte zur Folge, daß das Rad sich sehr leicht unter dem Radläufer drehen würde, er müßte schneller laufen und dabei größere Strecken zurücklegen, um die Nutzlast nach oben zu bringen. Er würde zu bald ermüden.

Umgekehrt würde eine Verkleinerung des Laufrades bei sonst gleichbleibenden Dimensionen es erfordern, daß der Radläufer mit größerem Antrittswinkel ins Rad steigen müßte, er hätte eine steilere Strecke hochzusteigen, sein Lauftempo würde langsamer, er würde bald ermüden.

Die Kräfte der Radläufer, die sich wahrscheinlich abwechselten, mußten aber für einen 8 bis 14stündigen Arbeitstag ausreichen. Hier kam es auf die Erfahrung des Baumeisters an, die richtige Übersetzung und die günstigsten Dimensionen für sein Hebezeug zu wählen. Der heute übliche Steigungswinkel für Wohnhaustreppen mit 18 cm Steigung und 27 cm Auftrittsbreite



Abb. 6. Weltchronik des Rudolf von Ems, 1365. Tretrad und Mast bilden eine konstruktive Einheit. Die Radachse ist in den Kranmast integriert. Beim Schwenken drehen sich Rad und Mast. Die Darstellung ist unvollständig.

Abb. 7. Turmbau, Straßburg 1485. Das Tretrad steht im wettergeschützten Erdgeschoß des Turmes, der Mast wird mit wachsendem Bauwerk nach oben versetzt und in je zwei Deckenebenen gehalten.



beträgt 34 Grad. Vielleicht ist dies der optimale Antrittswinkel, der Versuch an dem originalnahen Nachbau des Tretradbaukrans könnte dies erweisen.

Der „Werckb-Meister“ Martin Löhner erstellte im 17. Jahrhundert ein Ochsentrettscheiben-Pumpwerk im alten Brunnenhaus von Schillingsfürst. Es diente der Wasserförderung und funktionierte so, daß ein Ochse auf einer kreisrunden, etwas geneigten Holzscheibe laufend, diese in Drehung versetzte. Über Holzzahnräder wurde die Drehbewegung auf das Pumpwerk übertragen. Hier stellte sich ein ähnliches Problem, wie oben beim Tretrad geschildert: es kam entscheidend auf die Neigung der Holzscheibe an. War die Neigung zu schwach, drehte sich die Scheibe zu leicht unter dem Tier, war die Neigung zu stark, mußte das Tier zu steil bergauf gehen, es ermüdete bald. Die Neigung beträgt 6,5 Grad und ist auf die durchschnittliche Leistungsfähigkeit des Tieres abgestimmt.

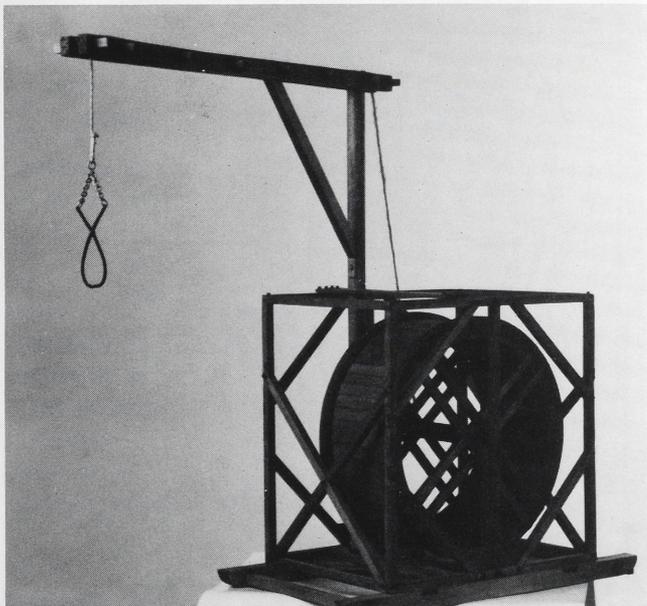
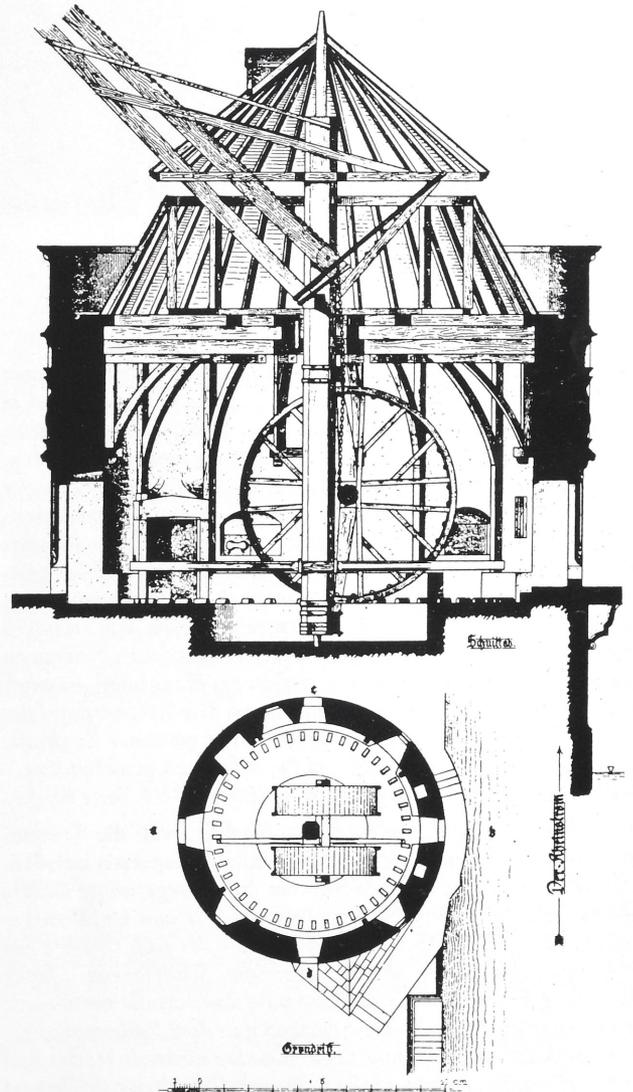


Abb. 8. Modell des Fleckensteiner Krans im Maßstab 1:10. Der Mast steht frei vor der Radachse, die in diesem Bereich als Windenkörper für die Seilaufwicklung dient.

Abb. 9. Landkran von Andernach. Dieser Kran wurde bis zum Jahr 1911 als Tretradkran betrieben.



Abb. 10. Ein Schiffskrane in Bonn, Ausschnitt aus der Darstellung der Eroberung Bonns am 23. Dezember 1587. Die durchschnittliche Hubkraft solcher Krane wird bei etwas mehr als 1 Tonne gelegen haben.

„Es ist überliefert, das Tretscheiben-Pumpwerk sei einen Bauernwerktag von 12 Stunden von 2 Ochsen abwechselnd in Gang gehalten worden. Jeder Ochse sei in 2stündigem Turnus, also $3 \times 2 = 6$ Stunden zum Betrieb herangenommen worden. Daß dies physisch möglich war, und daß Meister Löhner darin der Forderung, die der „Mechanicus“, Königl.-preuß. Commerzien-Rath Jacob Leupold (1674-1727) in seinem berühmten Maschinenbuch von 1724 aufstellt: „hat ein Mechanicus gleichfalls Reflexion darauff zu machen, daß er nicht nur ohngefähr weiß, was insgemein ein Mensch heben, tragen oder ziehen kan, sondern auch wie schwehr er ist, desgleichen ist auch von denen Thieren zu wissen nöthig“, entsprochen hat, erweist ein Hauptmaß, nämlich die Neigung der Tretscheibe von 6,5 Grad. Die Steigkraft auf der rotierenden schiefen Ebene entsprach damit ganz der Zugkraft, die das Tier vor Pflug oder Wagen aufzubringen gewohnt war.“ (Wilh. Ruckdeschel in Burgen und Schlösser, 83/II, Seite 93 ff.)

Die Arbeit der Kranknechte war gefährlich, weil die Tretradkräne – auch die Baukräne – keine Rücklaufperren besaßen. „Die Arbeit in den Treträdern war keineswegs ungefährlich. Selbst geschultes und erfahrenes Personal war von Unfällen betroffen, da – wie noch die „Encyklopädie des J.G. Krünitz aus dem 18. Jahrhundert vermerkt – die Schiffskräne „keine Hemmung haben, welche die Last vom Zurückfalle verhindern kann, wenn einer von den Arbeitsleuten in dem Rade von ungefähr ausgleitet oder fällt und daher dieselbe niedersinkt, das Rad schnell rückwärts dreht und die Leute mit Gewalt mit sich herum treibt, welches sie öfters nicht nur um ihre gesunden Gliedmaßen, sondern auch um ihr Leben bringt.“ (M. Matheus, Hafenkranne, Trier 1985, Seite 33).



Abb. 11. Teufel im Tretrad, Malerei von 1355. Die knarrenden Treträder hatten für den mittelalterlichen Menschen etwas Bedrohliches. So stellte man sich vor, daß der Teufel in der Hölle die armen Sünder mit Treträdern quält, die mit Messern besetzt sind, oder, daß die Verdammten, um dem Höllenfeuer zu entfliehen, im Inneren der Erde geängstigt hinaufklettern und die Erde dadurch in Drehung versetzen.

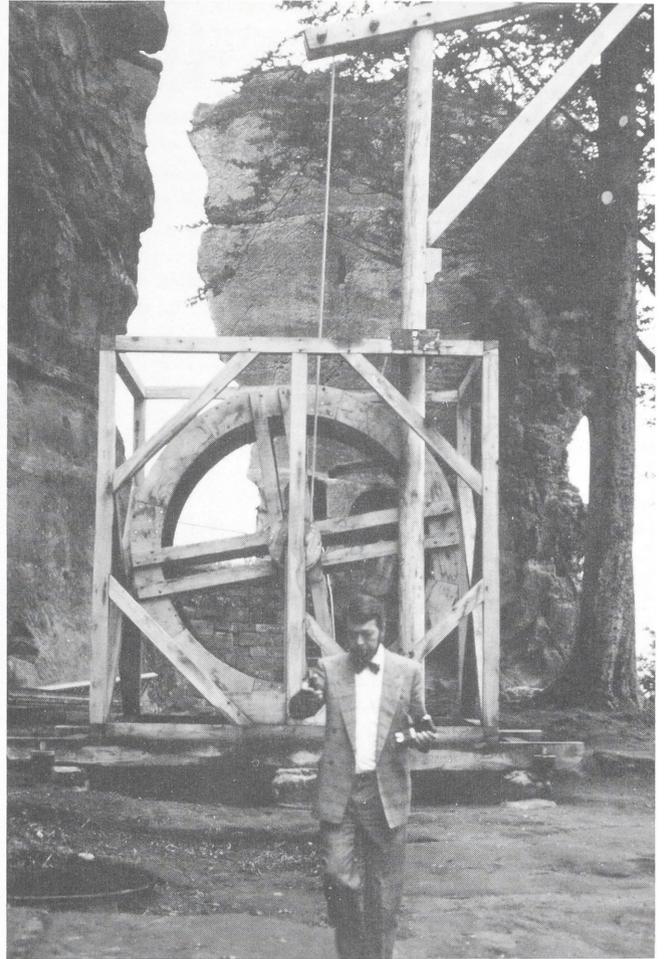


Abb. 12 und 13. Der Tretradbaukran auf Burg Fleckenstein.

Für die Burg Fleckenstein wurde ein Tretrad-Baukran konzipiert, der aus drei Grundelementen besteht, dem Käfig, dem Rad und dem Mast. Der Käfig wurde aus Eichen-Kanthölzern 14/14 cm errichtet. Seine senkrechten Außenflächen sind mit Streben in Form von Andreaskreuzen bzw. mit Kopfbändern ausgesteift. Im Innern des Käfigs läuft das Rad mit zwei Doppelspeichen je Felge. Die Radachse ist einseitig verlängert und dient im Bereich der Verlängerung als Windenkörper für das aufzuwickelnde Seil. Der Mast steht frei vor dem Windenkörper, ist unten mit einem Stahlzapfen schwenkbar in einer Pfanne gelagert und oben durch schwere, auf der Käfigoberseite aufgekömte Kanthölzer gehalten. Die Lager der Radachse bestehen aus spatenförmig in die Achsenden eingelassenen Stahlteilen, die in runde Drehzapfen übergehen. Diese drehen sich in nach oben offenen, u-förmigen Stahllagern, die an den Käfiginnenseiten angebracht sind. Die Konstruktion der Radachse ist bei Georg Agricola dargestellt und wurde vom Verfasser auch bei einer Ölmühle nahe der Burg Fleckenstein festgestellt, die aus der Zeit um 1780-1790 stammen soll. Bei der Aufstellung des Krans zeigte sich, daß diese Achslagerung nur sehr geringe Reibungsverluste aufweist. Die nach oben offenen Lager sind leicht zu schmieren. Ein Herausheben der Radachse durch sinkende Last ist nicht zu befürchten, weil das hohe Gewicht des Rades – (knapp drei Tonnen) – dies verhindert.

Der Gehbelag des Rades ist schwalbenschwanzförmig in die Felgen eingelassen und hält diese sicher auf Abstand. Zum besseren Halt der Radläufer ist er durch Aufdoppelung stufenförmig gestaltet. Nachdem ein Modell im Maßstab 1:10 gebaut und die Finanzierung des originalgroßen Krans gesichert war, wurde der Nachbau von einer ortsansässigen Zimmerei im Win-

ter 1985/1986 durchgeführt. Der Kran mußte in Einzelteilen auf den oberen Burghof geschafft werden, weil er sonst nicht durch das Burgtor gepaßt hätte. Insgesamt wurden ca. 7,5 Tonnen Eichenholz verarbeitet.

Im Gegensatz zur Planung und zum Modell wurde der Arm des Auslegers aus optischen Gründen nicht horizontal, sondern mit einer Steigung von 30 Grad ausgeführt. Diese Gestaltung ist in vielen mittelalterlichen Darstellungen zu finden. Der Kran erreicht eine Höhe von etwa 9,00 m. Die Kosten betragen ca. 40000,- DM.

Anfang Juni 1986 wurde das Hebezeug der Öffentlichkeit vorgestellt. Dabei wurde eine Steinstufe von etwa 400 kg Gewicht ans Seil gebunden, dann stieg ein Läufer ins Rad. Der Kran hob den Stein.

Heinrich Blumenthal, Königswinter

Literatur

- Agricola, Georg*, De Re Metallica Libri XII. Düsseldorf 1978.
Alberti, Leon Battista, Zehn Bücher über die Baukunst, Darmstadt 1975.
Binding, G. / Nußbaum, N., Mittelalterlicher Baubetrieb, Darmstadt 1978.
Landels, John Gray, Die Technik in der antiken Welt, München 1979/1983.
Matheus, Michael, Hafenkranne. Trier 1985.
Ruckdeschel, Wilhelm, Frühe Maschinen auf Burgen und Schlössern, in: Burgen und Schlösser 83/II.
Vitruv, De Architectura Libri X. Darmstadt 1981.