

# Pferde - Motor für Maschinen

Helmut Meyer

## Zusammenfassung

Über den Antrieb stationärer Maschinen durch Pferde ist wenig überliefert. Im Altertum bewegten meist Esel die erstmals mit tierischer Kraft betriebenen Getreidemühlen, seltener alte und blinde Pferde. Im Mittelalter wurden Pferde kaum noch für Getreidemühlen (Nutzung von Wasser- oder Windenergie), gelegentlich aber für Ölpresen oder in Mühlen der Mälzerei eingespannt. Im Bergbau halfen Pferde seit etwa 1300, über göpelbetriebene Einrichtungen Wasser oder Solen abzupumpen oder Erze bzw. Salze aus der Tiefe zu ziehen. Berichte über den Einsatz von Pferden in der Bauwirtschaft für Lastenaufzüge sind relativ selten, für einige spektakuläre Ereignisse aber ausführlich beschrieben (Dombau in Florenz, Versetzen eines Obeliskens in Rom). In der Landwirtschaft haben Pferde, abgesehen von Wasserrädern und Schrotmühlen, vor allem Häcksel- und Dreschmaschinen (bis ins 20. Jh.) betrieben, in Übersee auch Heu- und Strohpressen sowie Maschinen zur Verarbeitung von Mais oder Zuckerrohr. Vor Einführung der Dampfmaschine am Ende des 18. Jh. waren Pferde in der frühindustriellen Entwicklung im Textilgewerbe, bei der Rohstoffverarbeitung (Lein, Baumwolle) und auch bei Säge- und Papiermühlen, soweit keine Wasserkraft genutzt werden konnte, unentbehrlich. Im 16. bis 19. Jh. wurden auch Schaufelradschiffe auf Flüssen oder Fahren von Pferdegöpeln betrieben, vorwiegend in England und den USA. In Holland bewegten im 17. und 18. Jh. auf Nassbaggern Pferde die Laufbänder. Die Haltungs- und Zugbedingungen waren für Göpelpferde oft nicht optimal. Starke Körperbiegung bei kleinem Radius, ungleicher Zug ebenso wie psychischer Stress durch ständige Kreisbewegung bedeuteten bei Dauereinsatz erhebliche Belastungen.

**Schlüsselwörter:** Pferde, Geschichte, Antrieb stationärer Maschinen.

## Horse powered machines

In the past work of horse powered machines have been poorly documented. In the 5th century BC man first times learned to use animal power for driving grainmills, mainly by donkeys. Later people used horses too, but mostly old or blind ones. In Medieval times grainmills were driven by water or wind energy, by horses only in areas without suitable conditions. In mines horses propelled wheels to move water pumps or cranes to heave water, ore or brine. Only a few reports documented horse powered lifts for construction of buildings as the cathedral building in Florence or moving an obelisk in Rom. In agriculture horses were used – besides for water pumps or grainmills – to drive chopping or threshing machines, in overseas hay- or straw press or to work up corn or sugar cane, too. Before the introduction of steam engines horses were engaged in textil industry, in manufacturing raw products (flax, cotton wool), in saw- and papermills if no water energy was available. During the 17th to 19th century smaller ships with paddle wheels, which were used on rivers or as ferries, were powered by horses, mainly in England and the USA. In Amsterdam wet dredging machines used horse power to move conveyers for taking off the mud from the water way. Housing and working conditions for wheel horses often were suboptimal (bend body on small circles, unequal drawing conditions, permanent rotating). Especially continuous work heavily stressed horses.

**Keywords:** Horse, history, horse powered machines.

## Einleitung

Generell sind die Leistungen von Pferden beim Transport und Militär, im Verkehr und in der Landwirtschaft bekannt, weniger ihr Beitrag in der technischen Welt. Diese Aufgaben werden in Büchern zur Kulturgeschichte der Pferde, z.B. *Barclay* 1980 oder *Edwards* 1999, nicht oder nur am Rande erwähnt. Für stationäre Maschinen waren Pferde jedoch lange eine treibende Kraft.

Für erste technische Geräte (Ackerbau, Winden, Mühlen etc.) stand dem Menschen zunächst nur die eigene Muskelkraft zur Verfügung. Erst ab dem 5. Jh. v. Chr. lernte er, auch tierische Kraft zu nutzen (*Gleiberg* 1975), im 2./1. Jh. v. Chr. auch die Wasserkraft (*Schneider* 1997, S. 308). Eine weitere Energiequelle, den Wind, fing man in Mitteleuropa erst am Ende des 12. Jh. ein (*Ludwig* 1997, S. 98).

Bis zum Beginn des Dampfmaschinenzeitalters am Ende des 18. Jh. blieb neben Wasser und Wind also nur tierische

Muskelkraft (Wiederkäuer, Equiden, selbst Ziegen oder Hunde) zum Antrieb stationärer Maschinen: für Getreidemühlen, im Bergbau, bei der Salzgewinnung, beim Bau, in der Textil-, Papier-, Holz- und Lebensmittelindustrie, in der Schifffahrt und noch relativ lange in der Landwirtschaft.

Auch im fernen Osten – in China – lernte man Tiere für solche Zwecke zu nutzen, bei Mühlen oder Wasserhebemaschinen, allerdings dominierten dabei Ochsen (*Eggebrecht* 1994, S. 29).

In der Dritten Welt sind heute noch Tiere Kraftquelle für einfache Maschinen, insbesondere Wasserpumpen (*Löwe* 1986).

## Kraftübertragung

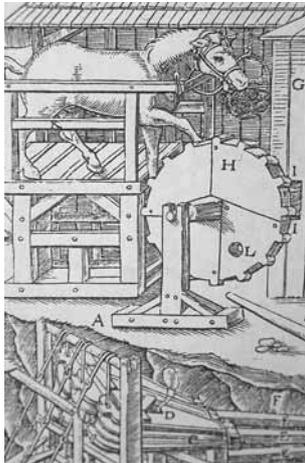
Als einfachste und häufigste Form der Kraftübertragung von Tieren auf Achsen gilt der Göpel, bei dem ein im Kreis laufendes Zugtier mittels eines Dreharms eine senkrechte Welle

in Bewegung setzt. Im Verlauf des Mittelalters lernte man auch, durch Zahnradübersetzungen die senkrechte in eine horizontale Rotation umzuwandeln.

Laufräder, in denen Tiere innen liefen, kamen für Pferde kaum in Gebrauch, allenfalls für Esel oder andere kleinere Tiere (Ziegen, Hunde, *Agricola* 1557, VII, 237; *Kaiser* 1993, S. 111-122). Solche Einrichtungen waren für Pferde unfallträchtiger als Göpel (Löwe 1986, S. 27).

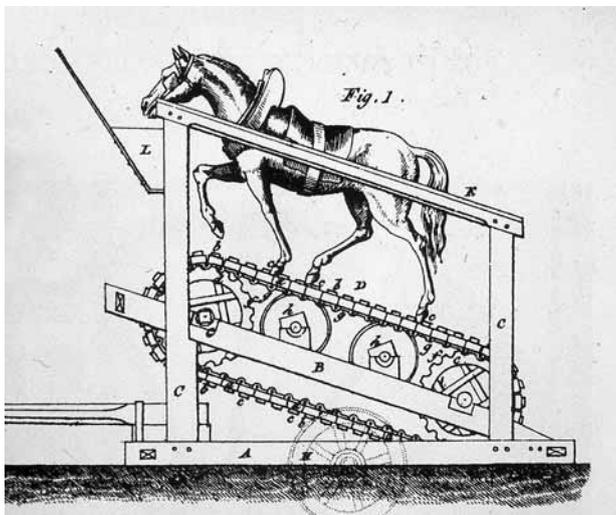
Treträder kamen dagegen regional oder temporär vor. *Agricola* (1557, VII, 176) bildet ein Tretrad zum Antrieb eines Gebläses ab (Abb. 1). Dabei musste das Pferd auf außen angebrachte Querleisten eines Rades treten, um es zu bewegen.

Anfang des 19. Jh. konstruierte der französische Ingenieur



**Abb 1** Tretrad für Gebläse. *Agricola* 1557, VII, S.176  
Treadmill, powering a blast-engine 1557

Guilbaud einen Rollbandgöpel (Laufband, Abb. 2), mit dem auf engem Raum, z. B. Schiffen, der Antrieb der Schaufelräder möglich war. Später dienten solche Laufbänder, mit denen ein oder zwei Pferde eine Achse bewegen konnten, vorrangig



**Abb 2** Rollbandgöpel des französischen Ingenieurs Guilbaud 1823. *Kaiser* 1993, S. 123  
Treadmill, constructed by the French engineer Guilbaud 1823

zum Antrieb landwirtschaftlicher Maschinen (*Kaiser* 1993, S.123). Löwe (1986, S. 17/18) zeigt solche Laufbänder zum Antrieb von Baumwollpressen oder Dreschmaschinen.

## Getreide- und andere Mühlen

Vermutlich mussten um 500 v. Chr. erstmals in griechischen Städten Kleinasien und Siziliens Esel Mühlsteine bewegen (*Gleisberg* 1975, S. 114). In einem sehr kleinen Kreis, den Körper ständig gebogen, bewegten sie die Achse mit dem Mühlstein. Für die anfangs kleinen Mühlen kam nur die kleinste Einheit unter den Equiden, der Esel, in Frage. Diese Funktion war so typisch, dass man Getreidemühlen schlechthin *molae asinariae* = Eselsmühlen nannte (*Flach* 1990, S. 257). Gewerbliche Mühlen, meistens mit Bäckereien kombiniert, hielten mehrere Esel; für den römischen landwirtschaftlichen Betrieb war ein Mühleesel typisch (*Columella* VII, 1). In Pompeji hatte im Stall eines Bäckers die Lava auch fünf Esel und ein Maultier verschüttet (Sendung 3 SAT, 29.3.2002).



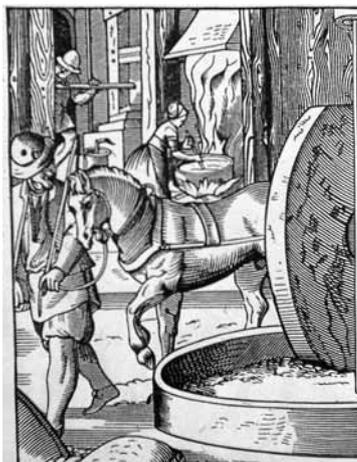
**Abb 3** Römische Getreidemühle, 1./3. Jh. n. Chr. Vatikan, Museo Chiaramonti, nach *Junkelmann* 1990, Abb. 87  
Horse driven Roman grain mill, first to third century.

Monotone Kreisbewegungen vor der Mühle blieb auch Pferden nicht erspart. Oft waren es abgetakelte Tiere, die zum Reiten oder Fahren nicht mehr taugten, manchmal auch blinde Pferde, die den ewigen Kreisverkehr wohl am besten tolerierten. Gelegentlich wurden auch übermütige junge Hengste eingespannt. Gesunde Pferde trugen – wie Abb. 3 zeigt (*Junkelmann* 1990, S. 86) - Augenklappen, die das Auge fast vollständig verdeckten. Doch es müssen auch noch allgemein brauchbare Pferde genutzt worden sein, denn als der römische Kaiser Caligula (1. Jh. n. Chr.) alle Mühlenpferde Roms beschlagnahmte ließ (*Schneider* 1997, S 308), standen die meisten Getreidemühlen Roms still - ein Hinweis, dass Pferde eine große Rolle in dieser Industrie spielten und andererseits die Wasserkraft in Rom noch kaum genutzt wurde.

Vom Elend der Mühleesel liefert der römische Dichter Apuleius (1. Jh. n. Chr.) in seinem Roman „Der goldene Esel“ ein anschauliches Bild. Der Esel, ein verwandelter Mensch, arbeitete u. a. in einem Großbetrieb, wo Tag und Nacht die Mühlräder in Gang gehalten werden mussten. Nachdem er einen Tag ohne Arbeit üppig gelebt hatte, „schirrte man mich am folgenden Morgen in aller Frühe an eine Mühle. Umgehend wird mir der Kopf verummmt, ich werde auf die rundherum laufende Rinne getrieben, soll im Kreis des Außenkanals immer wieder in meine eigenen Fußstapfen treten und in bestimmter Richtung ohne Ziel herumlaufen...“ Als er am Abend von seinem Kummer befreit ist, sieht er sich im Stall um: „Was waren das für uralte Maulesel oder klapprige Gäu-

le? Da standen sie an der Krippe, steckten ihre Köpfe hinein und kauten ihre Häckselportion: die Nacken von eitriger Wundfäule geschwollen, die schlaffen Nüstern von dauernden Hustenstößen geweitet, die Brust voller Schwären vom unablässig reibenden Gurtband, die Rippen von lauter Prügeln bis auf die Knochen entblößt, die Hufe vom endlosen Herumrennen verschmutzt und das ganze Fell starrend von Schmutzkruste, Räude und Dürre" (Apuleius IX, 11,1-11,6; 12,1-2; 13,1-2).

Nach Vitruvius (X, 10) waren in der frühen Kaiserzeit Göpel bekannt. Ob damit auch andere Maschinen betrieben wurden, ist nicht überliefert. Im 4. Jh. werden Göpel zum Antrieb von Schiffen vorgeschlagen, aber nicht realisiert (Thompson 1952).



**Abb 4** Ölmühle für Oliven. Holzschnitt J. Amman 1568. Kleinpaul, R. 1895  
Oilmill, pressing olives, Woodcut by J. Amman 1568

Mit Ende des Römischen Reiches ging auch die Mühlenindustrie zurück, allerdings blieben in Frankreich Esel – vor allem in den Klöstern – noch in den Sielen der Müller (Hägermann 1997 S. 346). Doch es gab Entlastung: Wasser-, nach 1100 auch Windräder (Ludwig 1997, S. 8, 98) übernahmen bis ins Hochmittelalter mehr und mehr die monotone Arbeit der Tiere. Nur in Gebieten, wo beide Energiequellen nicht verfügbar waren, blieb es bei dem alten Dreh. Auch in speziellen Situationen mussten Mühlenpferde noch weitermachen. So präsentiert Zeising 1618 eine von Soldaten in Spanien konstruierte mobile Mühle, die von 2 Pferden gezogen oder mit Hilfe von Göpeln gedreht werden konnte. Pferdegetriebene Göpel wurden auch bei der Verarbeitung anderer Lebensmittel eingesetzt. Die schon im Altertum benutzten Ölpresen oder -quetschen, von Cato eingehend beschrieben (Kap. 21 u. 22), wurden auf Grund seiner Angaben über Arbeitsverträge (Kap. 154) offenbar nicht durch Tiere bewegt. In Mitteleuropa dienten jedoch Göpel für den Betrieb von Ölmühlen oder Pressen für Weintrauben oder anderes Obst (Abb.4). Bis 1800 nutzten noch viele Brauer diese Antriebsart, um Malz zu schrotten oder Wasser zu pumpen (Thann 1983).

## Bergbau

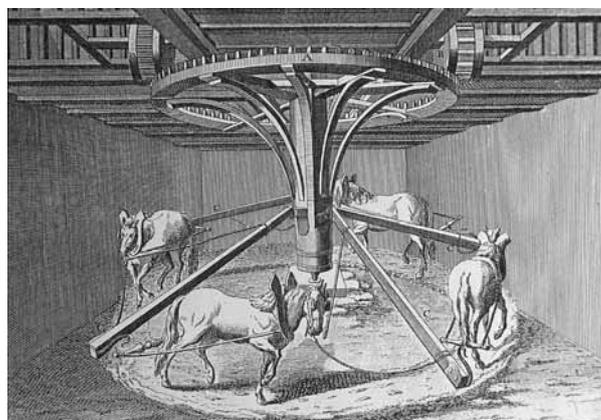
Nach den Erfahrungen im Mühlenantrieb nutzte im Hochmittelalter auch der Bergbau Pferdekraft, vermutlich erstmals um 1300 in Böhmen (Ludwig 1997, S. 54). Die rotae equo-

rum lösten die primitiven Eimerketten der Bergleute zum Abschöpfen des Wassers aus den Gruben ab. Die Technik der Wasserbeseitigung wurde in anderen Bergbaugebieten (Harz, Tirol; Weißgerber 1993) weiter perfektioniert und ging in die Geschichte der Technik als Rosskunst ein (Ludwig 1999, S. 70). Agricola (VI, 150) beschreibt eingehend den Betrieb einer solchen Pumpe, die Wasser aus rd. 80 m Tiefe pumpt. Für den Betrieb seien 32 Pferde notwendig gewesen, jeweils für acht Stunden Arbeit und 12 Stunden Ruhe. Für drei achtstündige Schichten hätten bei acht angespannten Pferden (vier Gespanne) 24 genügt, der Rest diente vermutlich als Reserve. Er berichtet von einer Wasserhebeanlage in den Karpaten, wo Wasser aus über 300 m Tiefe gepumpt werden musste. Auf drei Etagen wurden Pumpen (die unterste auf 230 m) installiert, von insgesamt 96 Pferden betrieben. Die Pferde mussten



**Abb 5** Göpel zum Wasserabpumpen im Erzbergbau von Tirol 1556. Weisgerber 1993, Abb. 105  
Captan propelling water pumps in a mine, Tirol 1556

in dem geneigten und schraubenförmig gedrehten Schacht auf Stufen zu den Maschinen absteigen (Agricola, VI, 151). Im Jahre 1556 entstand in Tirol eine Göpelanlage zum Wasserheben (Abb. 5), die gleichzeitig von 20 Pferden gezogen werden musste.



**Abb 6** Göpel für vier Pferde. Diderot Encyclopédie, Bd. 29. Taf. VII  
Captan with 4 horses, Diderot Encyclopedia

Später diente - soweit möglich - Wasserkraft dazu, Wasser aus den Schächten zu entfernen, nach Agricolas (VI, 150) Devise: Wasser muss durch Wasser gehoben werden. Nun wurde die Rosskunst zur Wasserkunst.

Von Göpeln betriebene Winden wurden auch genutzt, um die Schätze des Berges, Erz, später auch Kohle, aus Tiefen bis zu 200 m zu holen, ebenso wie Salzsole oder Steinsalz (Häger-

mann 1997, S. 408). Auch zum Antrieb der Gebläse waren Pferde eingesetzt (Abb. 1).

Im Erzgebirge drehten sich die ersten Pferdegöpel 1504 in Schneeberg (Kraus ~ 1994), im Harz – wo sie Gaipeln hießen – wenig später, um 1550. In Schneeberg gab es im 18. Jh. allein 39 Göpelhäuser (Kraus ~1994).

Bei der üblichen Technik wickelte sich die Förderkette um die senkrecht stehende vom Göpel angetriebene Welle. Dafür musste das Dach der Göpelhäuser in charakteristischer Weise erhöht werden. Um Unfälle z. B. durch Scheuen der Pferde zu vermeiden, war an der Seiltrommel eine Bremse eingebaut (Kraus ~1994). Die rotierenden vertikalen Achsen konnten über Zahnräder auch in horizontale Bewegungen transformiert werden. Die Balkenkreuze der Göpel erreichten bis 8,3 m (*Agricola* VI, 129).

### Bauwirtschaft

Obwohl im 15. und 16. Jh. der Bergbau schon eine beachtliche Technik entwickelt hatte, um Pferdekraft zu nutzen, blieb ihre Anwendung in der Bautechnik marginal. Die großen Kirchenbauten im Früh- und Hochmittelalter sind offenbar ohne Hilfe durch Tiere errichtet worden (*Binding* 1993, S. 393-426).

Im 15. Jh. sind pferdegetriebene Aufzüge am Bau nachgewiesen, z. B. vertikale Achsen mit Trommeln für Seile, z. T. in Kombination mit Auslegekran und Flaschenzug (*Straub* 1992, S.135). Aus dem 16. Jh. stammt eine Abbildung, auf der ein Pferd einen Schwenkkran bewegt (*Scheidegger* 1994, S. 253). Leider wurden offenbar nur spektakuläre Ereignisse dokumentiert. Beim Aufsetzen der berühmten Kuppel auf den Dom in Florenz nutzte Baumeister Brunelleschi im 15. Jh. Göpel, die von Ochsen oder Pferden gezogen wurden (*Schmidtchen* 1997, S. 397). Das Zugseil wog allein 500 kg. Der Lastenaufzug war so konstruiert, dass bei Umkehrung der Arbeitsbewegung die Zugtiere nicht ausgespannt, umgedreht und neu eingespannt werden mussten (*Prager* 1950).

Ein anderes spektakuläres Bauvorhaben war 1586 die Versetzung eines 327t schweren Obeliskens in die Mitte des Petersplatzes in Rom. Dazu sah der Chefindenieur Domenico Fontana u.a. 140 Pferde und 40 Göpel vor, die je exakt 10 t heben konnten (*Schmidtchen* 1997, S. 450). Bei kleineren Bauten lohnte vermutlich der Einsatz pferdebespannter Göpel nicht. Heinrich Zeising bildete in seinem *Theatrum machinarium*, das 1618 in Leipzig erschien, eine von Pferden getriebene Winde ab, mit der über eine schiefe Ebene kleine Loren mit Erdaushub aus einer Baugrube gezogen werden konnten.

### Landwirtschaft

In der Landwirtschaft kamen pferdegetriebene stationäre Maschinen am spätesten in Gebrauch, hielten sich aber am längsten, teilweise bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts. Abgesehen von Mühlen und Wasserpumpen wurden spezielle landwirtschaftliche Geräte wie Häcksel- oder Dreschmaschinen, die erst im Laufe des 19. Jh. Eingang in die land-

wirtschaftliche Praxis fanden, von Pferden bewegt. Für Dreschmaschinen, die in bäuerlichen Regionen von Hof zu Hof fuhren, benutzte man auf größeren Betrieben eigene, sonst auch transportable Göpel (*Kaiser* 1997, S. 34). Die Dampfmaschine war für die meisten landwirtschaftlichen Arbeitsabläufe auf kleineren Betrieben zu groß und unelastisch, so dass auf solchen Höfen erst in den ersten Jahrzehnten des 20. Jh. Verbrennungs- und Elektromotoren die Göpel ablösten. In bäuerlichen Betrieben standen Zugtiere zur Verfügung, für die sich in arbeitsarmen Zeiten eine willkommene Nutzung zum Antrieb der genannten Maschinen bot.

In den USA waren Pferde auch zum Stroh- oder Heupressen eingespannt (*Kaiser* 1997, S. 59; Löwe 1986, Abb.11), aber auch für Mühlen zur Verarbeitung von Mais oder Zuckerrohr (*Löwe* 1986, Abb. 9, 49).

### Sonstige Industrien

Bis zur Einführung der Dampfmaschine in den letzten Jahrzehnten des 18. Jh. haben Pferde die frühen Stufen der Mechanisierung mit ihrer Muskelkraft gefördert. Sie lieferten die Energie für Textilmaschinen, Säge- und Papiermühlen oder Walkeinrichtungen. Im Jahre 1770 richtete Arkwright eine von Pferden angetriebene Spinnerei in Nottingham ein (*Hobhouse* 2001, S. 185). Ein Pferd konnte rd. 1000 Spindeln bewegen (*Tann* 1983).

Zur Gewinnung der Flachsfaser stampften Bokemühlen den Flachs weich und setzten die Faser frei. Eine Roßmühle aus dem Jahre 1797 mit einem Göpeldurchmesser von 10,2 m zum Antrieb von Boke- und Getreidemühlen ist noch in Oberbarnsdorf, Kreis Lübbesche, zu besichtigen. Das alte Räderwerk zählt 320 Zähne aus Hainbuchenholz.

Pferdegöpel hatten auch in der Metallverarbeitung ihren Platz, wenngleich Wasserkraft dominierte. Eine Riesenspindel- presse für vier Pferde zur Herrichtung von Münzmetall zeigt *Diderot* (18. Jh.) in seiner Enzyklopädie (Abb. 6).

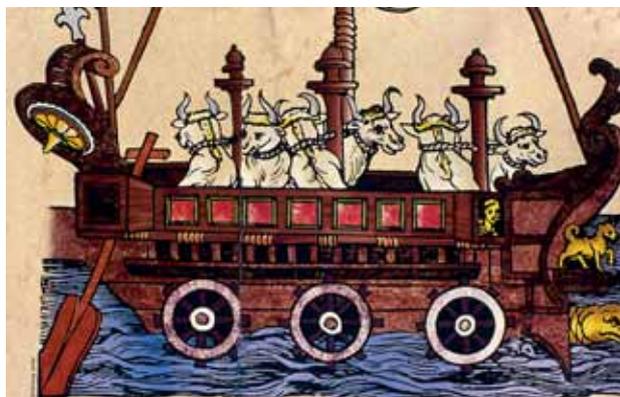
In kleineren gewerblichen Betrieben hielten sich pferdegetriebene Maschinen noch im 19. Jh., doch die permanenten Anwendungen zur Haltung und Fütterung der Pferde förderten auch bei ihnen den Wechsel zur Dampfkraft.

### Schifffahrt

Tierische Kraft für die Fortbewegung von Schiffen zu nutzen, war zunächst technisch nicht möglich. Doch im 4. Jh. kam einem antiken anonymen Techniker, einem „Jules Verne“ des Altertums, eine großartige Idee. Wenn Wasser die Wassermühlen – die damals bekannt waren - in Bewegung setzen konnte, dann musste es umgekehrt auch möglich sein, mit Wasserrädern Schiffe anzutreiben. Das war der entscheidende neue Impuls, denn mit dieser Technik konnte auch tierische Muskelkraft für den Antrieb von Schiffen genutzt werden. Der antike Schreiber setzte seine Idee zwar nicht in die Tat um, doch er hinterließ eine detaillierte Beschreibung, wie denn „das große Rad“ gedreht werden könne. Das von ihm entworfene Kriegsschiff *Liburna* (Abb. 7) sollte von drei Ochsenpaaren angetrieben werden: Je zwei drehten drei Göpel, die ihre Kraft über Zahnräder auf sechs außenbords liegende

Schauflerräder übertrugen (Thompson 1952, S. 53). Damit - so glaubte er - erhielten Kriegsschiffe eine größere Stoßkraft beim Rammen. Wechselweise sah er auch Maultiere oder Pferde vor.

Es dauerte fast tausend Jahre, bis man sich mit dieser Tech-



**Abb 7** Ochsengetriebenes Kriegsschiff Liburna. Kolorierte Zeichnung nach Hassal 1979, Pferdeborse 2003 (8/9).

*Roman warship Liburna with paddlewheels turned by oxen.*

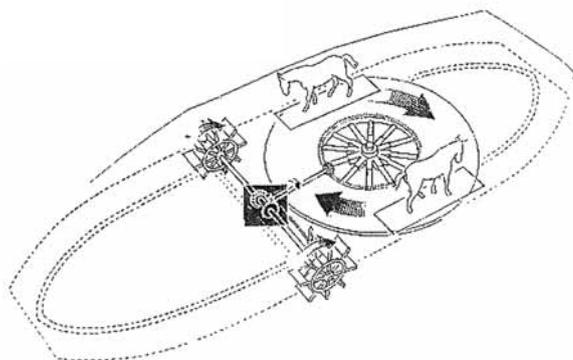
nik wieder beschäftigte, u.a. das italienische Universalgenie Leonardo da Vinci (Thomson 1952, S. 53). Im Jahr 1543 baute ein Spanier ein Schiff von 209t mit Schauflerrädern, doch Muskelmänner mussten es in Bewegung setzen und halten (White 1979, S. 84-89). Etwa 150 Jahre später brachte Ruprecht von der Pfalz (1619-1682), Kavallerist und Seefahrer, Sohn des berühmten Winterkönigs, wieder Pferde ins Spiel. Als Oberbefehlshaber der britischen Flotte ließ er in den 70er Jahren des 17. Jh. ein Schauflerradboot bauen, das von vier, sechs oder acht Pferden bewegt werden konnte. Bei einer Wettfahrt auf der Themse hatte es gegenüber der königlichen Barke, die mit 16 Ruderern besetzt war, die Nase weit vorn. Für die traditionsbewusste britische Marine zeitigte diese Neuerung keine Folgen; das Boot musste später als Schlepper auf der Themse Dienst tun (White 1979, S. 87).

Die Kunde von dieser Antriebsart für Schiffe wanderte jedoch in die Neue Welt. Schon 1719 bewegten Pferde ein Schiff auf dem Delaware. Im Jahre 1838 trieb eine Quadriga mit zwei Pferden und zwei Maultieren eine Fähre über den Missisipi. Equine „Rad“dampfer konkurrierten in den folgenden Jahrzehnten mit Dampfschiffen auf vielen Flüssen (z. B. Ohio, Missouri) oder in großen Städten (u.a. in New York, Philadelphia, Washington). Meistens als Fährschiffe genutzt, deren „Hafer“motor bis zu 20 PS (20 Pferde oder Maultiere) leistete, schafften sie fünf Knoten in der Stunde und bis zu 200 Passagiere ans andere Ufer (White 1979, S. 87; NN 1999). Die Pferde drehten vor den unter Deck installierten Göpeln ihre Runden (Abb. 8). Die Passagiere schwärmten von der Sicherheit: Auf diesen Booten konnte es keine Kesselexplosionen geben, die in der Anfangszeit der Dampfschiffahrt nicht selten waren (Thompson 1952, S. 54). Das letzte Boot dieser Klasse wurde in Amerika 1929 in Tennessee im Hafen von Rome stillgelegt. Ein altes, blindes Pferd hatte es gezogen (NN 1999).

In England tat noch im 19. Jh. ein von vier Pferden angetriebenes, fast 20 m langes Paketboot mit Schauflerrädern von rd. 2 m Durchmesser auf dem Great Yarmouth in Norfolk seine Dienste. Der Göpel hatte nur einen Durchmesser von knapp

6 m. Das Schiff schaffte fast 10 km in der Stunde. Doch das reichte nicht, um den Wettlauf mit Dampf- oder Motorschiffen zu gewinnen.

Auf Nassbaggern nutzten im 16. und 17. Jh. Holländer von vier bis sechs Pferden gezogene Göpel zum Antrieb der Lauf-



**Abb 8** Fährschiff, USA, von Pferden angetrieben; NN 1999  
*Pattern of a horse driven ferry.*

bänder, um vor allem vor Amsterdam die Fahrrinne frei zu halten (Conradis 1939, S. 56 und 59). Auf einem Stich von Jan Luyken (Reichsmuseum Amsterdam) wird die Anlage detailliert wiedergegeben.

### Wie ist der Einsatz von Pferden für den Antrieb stationärer Maschinen zu beurteilen?

Generell wurde die Arbeit von Göpelpferden häufig durch hohe Temperaturen, geringe Lüftung und starke Staubbildung (Belastungen des Respirationstraktes) beeinträchtigt, (s. Apuleius). Im Altertum drehten sich die Tiere in sehr kleinem Kreis um die senkrechtstehende Mühlsteinachse. Dies erzwang eine starke Biegung des Körpers, selbst bei kleineren Eseln. Wenn die Zugstränge nicht unterschiedlich lang waren, kam es auch zu einseitiger Belastung der Tiere und Scheuerstellen auf der Haut, wie schon Apuleius im 1. Jahrhundert n. Chr. bemerkte.

Für Göpel musste eine optimale Länge der Zugbalken entwickelt werden, denn davon hing die Effizienz der Zugkraft ab. Der Ingenieur Robert Stevenson meinte 1818, bei kurzem Göpelbalken, wie auf dem Yarmouth Paketschiff, mit knapp 6 m Durchmesser werde nur die halbe Pferdekraft ausgenutzt (Thompson 1952, S. 54). Dies war zwar nicht ganz richtig (s. u), doch die Länge des Göpelbalkens war der „Pferdefuß“ des equinen Schiffsantriebs, denn die Breite des Schiffes ließ sich nicht beliebig erweitern. Dies war der Ansatz des französischen Ingenieurs Guilbaud zur Entwicklung eines Rollbandgöpels (Abb.1).

Ein großer Kreis hatte zwei Vorteile: Einmal erlaubte der längere Hebelarm des Göpels eine höhere Zugkraft der Pferde (die allerdings weitere Strecken zurücklegen müssen), zum anderen nahm mit zunehmendem Abstand von der zentralen Achse der „Schräg“zug ab und die Effizienz zu. Zieht ein Pferd im Kreis, d.h. tangential, ist der Zugwinkel ( $\alpha$ ) stets kleiner als  $90^\circ$ . Je kleiner der Göpelkreis, umso größer die Abweichung. Die jeweils wirksame Kraft ( $F_w$ ) weicht von der Kraftaufwendung des Pferdes ( $F_p$ ) nach folgender Formel ab:  $F_w = F_p \times \sin \alpha$ . Bei Längen des Göpelbalkens von 3, 5 oder 10 m

beträgt die Minderung von Fp 7, 2,4 oder 0,6 %, wenn die Länge der Anspannung mit 2,2 m angenommen wird. Bei kürzerer Anspannung ist die Abweichung von 90° geringer.

Nach früheren Erfahrungen sollten die Zugbalken der Pferdegöpel nicht kürzer als 3,50 m sein (Löwe 1986, S. 23). Im 19. Jh. galten 5 m als angemessen (Günther und Günther 1859, S. 36). Diese empirischen Daten werden durch die obigen Berechnungen bestätigt. Längere Balken verbessern die Effizienz der Zugaufwendung des Pferdes kaum noch. Sie ist nur notwendig, wenn eine größere Last vorliegt. Wird der Radius auf 1,5 m verkürzt, wie im Altertum bei Mühlen offenbar üblich, so werden nur noch 2/3 der Zugkraft des Zugtieres genutzt. Auf einem größeren Kreis muss das Pferd zwar längere Wege gehen und länger arbeiten, doch bei gegebener Last nimmt die Arbeit (Kraft x Weg) nicht zu. Da Energie für die Erhaltung kontinuierlich bereitstehen muss, führt die längere Arbeitszeit zu keinem erhöhten Energieaufwand.

Neben technisch-mechanischen Fragen sind auch tierpsychologische zu nennen. Das Bild eines ständig um eine Achse laufenden Pferdes passt wenig zu unserer Vorstellung über die Dynamik des Pferdes mit seinem Drang zu Vorwärtsbewegungen. Ein psychischer Stress scheint zu bestehen, wenn das Pferd mit normalerweise gradlinigen Bewegungen und einem weiten Gesichtsfeld von etwa 270° ständig im Kreis laufen muss. Dieser Stress konnte früher nicht gemessen und kann auch heute nicht imitiert werden. Die früher übliche Praxis, das Gesichtsfeld weitgehend durch Augenklappen einzuengen, oder blinde Pferde, die als besonders geeignet angesehen wurden (Günther und Günther 1859, S. 36), zu verwenden, spricht für die Widernatürlichkeit dieser Nutzungsform.

Wenn heute noch in der Dritten Welt tierische Muskelkraft genutzt wird, so können die in Mitteleuropa in der Vergangenheit gesammelten Erfahrungen sicher nützlich sein.

## Danksagung

Den Kollegen W. Giese, Hannover, und B. Rodenbeck, Berlin, danke ich für Berechnungen zum Zugwinkel bei unterschiedlicher Balkenlänge.

## Literatur

- Agricola G.* (1557): *De re metallica*. Froben, Basel. Nachdruck und kommentiert (Prescher) 1974, Dtsch. Verlag der Wissensch., Berlin
- Apuleius von Madaura*: *Metamorphosen*. Lat./deutsch von E. Brandt 1963, München
- Barclay H.* (1980): *The role of the horse in man`s culture*. Allen, London
- Binding H.* (1993): *Baubetrieb im Mittelalter*. Wiss. Buchgesellsch., Darmstadt
- Casson L.* (1979): *Die Seefahrer der Antike*. Prestel, München
- Cato M. P.* (234-149 v. Chr.): *de re rustica*, lat. u. deutsch von W. Richter, Artemis, München 1981-83
- Columella L. I. M.* (1. Jh. n. Chr.): *de re rustica*, lat. u. deutsch von W. Richter, Artemis, München 1981-83
- Conradis H.* (1939): *Die technisch-geschichtliche Entwicklung von Verfahren für Nassbaggerung (bis 19. Jh.)*. VDI-Verlag, Berlin

- Diderot*: *Enzyklopädie*, Bd 29. Facsimile des Erstdruckes von 1751-1780 bei Froben (Basel) von Frommann, Stuttgart/Bad Canstatt Tafel VII
- Edwards E.* {1999}: *Pferde*. BLV, München
- Edgebrecht A.* (1994): Hrsg.: *China, Eine Wiege der Weltkultur*. von Zabern, Mainz
- Flach D.* (1990): *Römische Agrargeschichte*. Beck, München
- Gleisberg H.* (1975): *Aus der Geschichte der Mühle*. In: Zintzen : *Alles ist schon einmal dagewesen*, S. 107- 157. Editiones Roche, Basel
- Günther F. und K. Günther* (1859): *Beurteilungslehre des Pferdes*. Hahn`sche Verlagsbuchhandlung, Hannover
- Hägermann K. H.* (1997): *Technik im frühen Mittelalter*. In: Hägermann, K. H., H. Schneider (Hrg.): *Propyläen Technik Geschichte*, Bd. 1, 317-508. Ullstein, Berlin
- Hassal M. und R. Ireland* (1979) : *de rebus bellicis*. BAR, Int. Ser. 63, Oxford
- Hobhouse H.* (2001): *Sechs Pflanzen verändern die Welt*. 4. Aufl., Klett-Cotta, Stuttgart
- Junkelmann M.* (1990): *Die Reiter Roms*, Bd. 1. von Zabern, Mainz
- Kaiser H.* (1993): *Ein Hundeleben*. Runge, Cloppenburg
- Kaiser H.* (1997): *Flegel, Goepel, Dreschmaschinen...* Museumsdorf Cloppenburg
- Kleinpaul R.* (1895): *Das Mittelalter*. Schmidt u. Günther, Leipzig
- Kraus W.* (~1994): Hrsg. *Pferdegöpel in Johannegeorgenstadt*, Prospekt
- Löwe P.* (1986): *Animal powered systems*. Vieweg, Braunschweig
- Ludwig K. H.* (1997): *Technik im hohen Mittelalter*. In: *Ludwig K. H. und V. Schmidtchen* (Hrg.): *Propyläen Technik Geschichte*, Bd. 2, 11- 205. Ullstein, Berlin
- Neuburger* (1912): *Die Technik des Altertums*. Voigtländer, Leipzig
- N.N.* (1999): *Horse and Mule-Powered Ferries*. *Live Animal Trade and Transport Magazine*, Dez., 33-34
- Prager F.* (1950): *Brunelleschi`s Inventions*. *Osiris IX*, 516
- Scheidegger F.* (1994): *Aus der Geschichte der Bautechnik*. 1. Grundlagen. Birkhäuser, Basel
- Schmidtchen V.* (1997): *Technik im Übergang*. In: *Ludwig K.H. und V. Schmidtchen* (Hrg.): *Propyläen Technik Geschichte*, Bd. 2, 206- 598. Ullstein, Berlin
- Schneider H.* (1997): *Die Gaben des Prometheus*. In: Hägermann, K. H., H. Schneider (Hrg.): *Propyläen Technik Geschichte*, Bd. 1, 19 - 312. Ullstein, Berlin
- Straub H.* (1992); *Die Geschichte der Bauingenieurkunst*. 4. Aufl. Birkhäuser, Basel
- Tann J.* (1983): *Horse power 1780-1880*. In: Thompson, F. M. L.: *Horse in European economic history*, S. 21-30. *Brit. Agri. Hist. Soc.*
- Thomson, E. A.* 1952: *A Roman reformer and inventor*. Clarendon Press, Oxford
- Varro M. T.* (1. Jh. v. Chr.): *res rusticae*, lat. u. deutsch von D. Flach, Wiss. Buchgesellsch., Darmstadt, 1996-2002
- Vitruvius Teutsch* (Rivius): *Zehn Bücher von der Architektur*. Nürnberg 1548, Nachdruck Olms, Hildesheim 1973
- Weisgerber G.* (1997): *Zur technischen Revolution des Bergbaues im Mittelalter*. In: *Steuer H. und U. Zimmermann* 1993: *Alter Bergbau in Deutschland*. Theiss, Stuttgart
- White K. D.* (1979): *Harvesting machines, Palladius and technology in the later Roman Empire*. In: *Hassal M. und R. Ireland* 1979: *de rebus bellicis*. BAR, Int. Ser. 63, Oxford
- White L.* (1963): *Medieval technology and social change*. Clarendon Press, Oxford
- Zeising H.* (1618): *Theatrum machinarium*. Leipzig

Prof. em. Dr. Dr. h.c. Helmut Meyer  
Kaulbachstraße 11  
30695 Hannover