

---

**Karl Rezak**

**Abenteuer mit Archimedes**

Illustrationen: Karl-Heinz Birkner  
1973 Kinderbuchverlag Berlin  
Abschrift und LaTeX-Satz: 2022

<https://mathematikalpha.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Eine geheimnisvolle Kraft</b>	<b>4</b>
1.1	Gorillio - der stärkste Mann Europas . . . . .	4
1.2	Zahlen zertrümmern ein Weltbild . . . . .	6
1.3	Ein Zweifler rechnet . . . . .	8
1.4	Die Zeit steht niemals still . . . . .	10
1.5	Ein Junge sammelt bunte Steine . . . . .	11
1.6	April - April! . . . . .	14
1.7	Eine Spur unter dem Bücherschrank . . . . .	17
1.8	100000 Kilogramm Blei . . . . .	20
1.9	Stärker als Gorillio . . . . .	25
<b>2</b>	<b>Ein Pharao lässt sein Grab bauen</b>	<b>27</b>
2.1	Die Schlacht in der Wüste . . . . .	27
2.2	Rätsel über Rätsel . . . . .	29
2.3	Steine beginnen zu reden . . . . .	31
2.4	Ein wichtiges Dokument . . . . .	32
2.5	Der Gott des Staates . . . . .	33
2.6	Die Baumeister haben Sorgen . . . . .	35
2.7	Der Transport . . . . .	36
2.8	Eine wichtige Entdeckung . . . . .	38
2.9	Die Steinrampe . . . . .	40
2.10	Und wieder Rätsel . . . . .	44
<b>3</b>	<b>Der Titan von Syracus</b>	<b>50</b>
3.1	Ein Wissenschaftler verteidigt eine Stadt . . . . .	50
3.2	„Heureka!“ . . . . .	53
3.3	„Ich bewege den Erdball!“ . . . . .	57
3.4	Ein Schiff läuft vom Stapel . . . . .	63
3.5	„Störe meine Kreise nicht!“ . . . . .	74
<b>4</b>	<b>Kindertage eines Riesen</b>	<b>77</b>
4.1	Der erste Kran . . . . .	77
4.2	Wie fing es an? . . . . .	80
4.3	Eine Epoche wird abgelöst . . . . .	87
4.4	Zeichenblätter eines Erfinders . . . . .	89
4.5	Es knarrt und rasselt . . . . .	92
4.6	Fontana hebt 500 Tonnen . . . . .	98
<b>5</b>	<b>Einer Kraft auf der Spur</b>	<b>103</b>
5.1	Ein Mann zeichnet die Zukunft . . . . .	103
5.2	Kraft aus der Luft . . . . .	107
5.3	Feuer und Wasser . . . . .	116
5.4	Das kohlefressende Ungeheuer . . . . .	120
5.5	Ein Mechaniker denkt nach . . . . .	123

5.6	Die Dampfmaschine . . . . .	125
5.7	Eisen und Dampf . . . . .	128
5.8	Energie strömt durch Drähte . . . . .	130
<b>6</b>	<b>Vom Schlosserjungen zum Diplomingenieur</b>	<b>133</b>
6.1	Der „Peiner“-Kran . . . . .	133
6.2	Horst Bendix . . . . .	135
6.3	Das grenzt an Zauberei . . . . .	137
6.4	Der Chefkonstrukteur . . . . .	139
6.5	Und wenn er kippt? . . . . .	141
6.6	Rapid III/1 . . . . .	143
6.7	Das Meisterstück - Rapid V/2 . . . . .	144
<b>7</b>	<b>Alte Stadt und neue Technik</b>	<b>162</b>
7.1	Eine Büchse Ananas . . . . .	162
7.2	Schiffe und Motoren . . . . .	163
7.3	Tor zur Welt . . . . .	167

# 1 Eine geheimnisvolle Kraft

## 1.1 Gorillio - der stärkste Mann Europas

In der Zeit meiner Kindheit gab es zwischen den Mietskasernen des Berliner Ostens einen kleinen Rummelplatz. Jedesmal, wenn ich mir einen Groschen verdient hatte, lief ich dorthin.

Aber mit meinem Geld hätten weder die Karussellbesitzer noch die dicke Dame in der Schießbude je zu Reichtümern gelangen können. Meinen Groschen kassierte stets ein Liliputaner, der mit wichtig-tuerischer Miene an der Kasse zum "Palast der Sensationen" hockte.

Dieser "Palast der Sensationen" war eine schummrige, enge Holzbude. Die Sensation, der zuliebe ich auf Riesenrad und Himbeereis verzichtete, hieß Gorillio. Er wurde als "stärkster Mann Europas" angekündigt, und er war es tatsächlich. Ich jedenfalls war davon felsenfest überzeugt.

Man kann einem Menschen nicht ohne weiteres ansehen, wieviel Kraft in ihm steckt. Gorillio hatte zwar einen Brustkorb wie ein Bär, und seine Arme und Beine glichen mittleren Baumstämmen, aber das alles war noch kein Beweis für seine Kraft. Das wusste auch der Dümmste aus dem Publikum, und deshalb musste Gorillio seine Stärke beweisen.

Vier kräftige Männer schleppten eine gewaltige eiserne Scheibenhantel auf das Podium. Während Gorillio, starr wie ein Denkmal, im Hintergrund wartete, trat der Liliputaner auf.

"Diese enorme Hantel", rief er, "hat ein Gesamtgewicht von vier Zentnern! Das entspricht zwanzig Eimern mit Wasser, meine Damen! Im übrigen: keine Schnüre, kein doppelter Boden, alles reell! Bitte, Herr Doktor, überzeugen Sie sich!"

Aus dem Publikum kletterte ein blassgesichtiger Student auf die Bühne. Er ließ seine flache Hand gegen die eisernen Scheiben klatschen, packte die Stange und stemmte seine Beine gegen die Bretter, als wolle er einen Baum samt den Wurzeln ausreißen. Die Hantel rührte sich um keinen Millimeter. Sie lag so fest, als sei sie mit der Erde verwachsen.

"Ich danke Ihnen im Namen der Direktion", rief der Ansager pathetisch.

"Vier Zentner Gewicht, meine Herrschaften! Vier Zentner hält unsere Allmutter Erde fest! Gorillio wagt es, ihr zu trotzen. Wenn Gorillio die enorme Hantel gestemmt hat, dann ist bewiesen, dass sein athletischer Körper die phantastische Kraft aufbringen kann, vier Zentner zu heben. Wir bieten zwanzig Mark demjenigen, der das gleiche vollbringt!"

Der Zwerg verschwand. Alle starteten erwartungsvoll auf Gorillio, der jetzt vor der Hantel stand und sich seinen Brustkorb mit Luft vollpumpte. Dann packte er überraschend mit beiden Händen zu. Sein Gesicht schwoll dunkelrot an. Man vermeinte, seine Muskeln und Knochen bersten zu hören. Sein Atem zischte zwischen den zusammengepressten Zähnen heraus, dann schwebte die Hantel auf seinen gestreckten Armen.

Gorillio wartete ab, bis die Bravorufe und das Klatschen aufhörten. Erst dann trat er unter seiner Last weg. Nichts mehr hielt die 4 Zentner, oder, wie wir heute sagen, 200 Kilopond schwere Hantel in der Schwebe. Die Eisenmasse wurde von der Erde blitzartig wieder zurückgeholt, und das geschah mit solcher Wucht, dass der "Palast der Sensationen" erzitterte und alle Lampen erloschen.

Nach dieser vorgesehenen technischen Störung zeigte der Liliputaner einen nagelneuen Zwanzigmarkschein und feuerte die Zuschauer an.

"Wer ist so stark? Wer hat Mut?"

Ich erlebte es nur ein einziges Mal, dass jemand diesen Mut aufbrachte. Und dabei handelte es sich ausgerechnet um meinen Vetter Heinz. Heinz war damals 20 Jahre alt. Er war groß und hatte kräftige Muskeln.

Als Hucker arbeitete er auf dem Bau, und da schleppte er jeden Tag vom Morgen bis zum Abend Ziegelsteine und Mörtel aufs Gerüst, Lasten bis zu 40 Kilopond. Das war eine anstrengende und eintönige Arbeit, so wie die Arbeit eines Lastenträgers von jeher anstrengend und eintönig gewesen ist. Aber das Baumaterial musste auf den Bau gebracht werden.

Die Unternehmer scheuten sich, genügend bequeme Bauaufzüge anzuschaffen. Es gab damals, nach dem ersten Weltkrieg, genug billige Arbeitskräfte.

Heinz wollte den Zwanzigmarkschein gewinnen, er vertraute auf seine Kraft. Wir saßen im "Palast der Sensationen", und Heinz rechnete mir vor, was er sich für das Geld kaufen würde. Als er aber die Scheibenhantel sah, wurde seine Stimmung gedämpfter.

Bleich aber entschlossen stieg er aufs Podium. Er betastete lange die Stange, richtete sich auf und zerrieb Spucke zwischen seinen Händen. Und nun fasste er zu. Erst riss er vergeblich an der Stange, er riss noch ein zweites Mal und brachte sie schließlich bis in Kniehöhe, worauf er sie sofort wieder zurückfallen ließ. Die Zuschauer lachten schadenfroh.

Heinz kam wie ein begossener Pudel von der Bühne und zog mich aus der Holzbude. Ich wollte ihn trösten und sagte: "Das war natürlich eine Schiebung ersten Ranges!"

"Nein", erwiderte er, "es war ehrlich. Zuerst dachte ich auch, sie hätten das Ding angeschraubt oder irgendwie festgehalten. Aber dann konnte ich es anheben. Da habe ich gemerkt, wie stark es nach unten zog. Es war nur das Gewicht. Ich bin zu schlapp, das ist alles."

"Du bist stark, Heinz, bestimmt!" protestierte ich.

"Aber nicht stark genug!" rief er. Der Ärger über seine Blamage machte ihn wütend.

"Ich merke es bei der Arbeit. Ich schlepe jeden Tag Mörtel und Klamotten. Wie das auf die Schulter drückt! Jede Leitersprosse, die du steigen musst, kostet Kampf. Am liebsten möchtest du dann alles hinschmeißen. Radio und Kintopp hat man erfunden. Kann man nicht etwas erfinden, dass die Steine nichts mehr wiegen?"

Ich hatte nichts gegen Radio und Film, konnte aber Heinz verstehen. Er sah alles mit den Augen eines Lastenträgers, der am Tage hart arbeiten muss und abends zu erschöpft ist, um noch ins Kino zu gehen.

"Weil ich mich so schinden muss, grübele ich manchmal. Ich grübele, warum das Zeug so schwer ist. Alles, alles hat Gewicht. Sogar der kleinste Dreck. Warum bloß?"

Ich konnte ihm keine Antwort geben. Ich wusste nur, dass unser Erdball alle Dinge, die sich auf ihm befinden, anzieht und festhält. Aber warum die Erde das kann und woher sie pausenlos die Kraft dazu hat, das konnte ich Heinz damals nicht sagen.

## 1.2 Zahlen zertrümmern ein Weltbild

Jahrtausendlang war das Rätsel der Schwere ungelöst; niemand wusste, wo man den Ursprung der Schwerkraft suchen musste. Erst vor einigen hundert Jahren kamen die Forscher diesem Geheimnis auf die Spur, und zwar über einen Umweg: über die Astronomie. Das geschah gegen Ende des Mittelalters.

Im Jahre 1543 erschien in Nürnberg ein Buch, das sofort großes Aufsehen erregte. Der Verfasser des Buches hatte 36 Jahre lang gezögert, die darin niedergelegten Gedanken zu veröffentlichen. Erst 1543, es wurde sein Todesjahr, wagte er diesen Schritt.

Die ersten Druckbogen erhielt der Verfasser, als er gelähmt auf dem Sterbebett lag. Kaum war dann das Buch erschienen, als kirchliche Kreise heftig gegen den Verfasser auftraten. Einem Sterbenden jedoch konnten sie nichts mehr anhaben.



Nikolaus Kopernikus

Was stand in diesem Buch? Bekämpfte es die Religion? Griff es die Kirche und ihre Priester an? Oder stand etwa in dem Buch, dass es keinen Gott geben könne?

Das alles war nicht der Fall. Im Gegenteil, ein frommer Mann hatte dieses Buch geschrieben, der polnische Domherr und Gelehrte Nikolaus Kopernikus.

Die Schrift trug den Titel: "Über die Umlaufbewegungen der Himmelskörper."

Wie kam die Kirche dazu, ein astronomisches, wissenschaftliches Werk anzugreifen? Im Mittelalter besaß die Kirche fast unbeschränkte Macht. Geistliche bestimmten in der Politik, in der Kunst, in der Wissenschaft und damit auch in der Astronomie. Was die Kirche für richtig hielt, wurde getan oder gelehrt.

Seit Jahrhunderten hatten die Menschen geglaubt, der Erdball stehe fest im Mittelpunkt des Weltalls. Die Sonne, der Mond und die Planeten sollten sich in sogenannten "sphärischen Schalen" um die Erde drehen. Diese Auffassung hatte ein griechischer Gelehrter namens Ptolemäus in einer umfangreichen Schrift niedergelegt. Das war im

zweiten Jahrhundert unserer Zeitrechnung gewesen. Mit dem damaligen Wissen hatte Ptolemäus nicht zu einer anderen Ansicht kommen können. Nun aber waren fast 1400 Jahre vergangen.

Inzwischen hatte Kolumbus Amerika entdeckt. Seefahrer und Entdecker wagten sich mit ihren Segelschiffen hinaus auf die Weltmeere und orientierten sich nach dem Sternenhimmel, damit sie sich auf den Ozeanen nicht verirren. Die astronomische Forschung erhielt dadurch große Bedeutung.

Die Astronomen mussten den Sternenhimmel genauer beobachten und entwickelten bessere Rechenmethoden. Dabei stießen sie auf Fehler, die sie sich nicht erklären konnten. War es ein Wunder, dass einige Gelehrte das ptolemäische Weltbild anzweifelten?

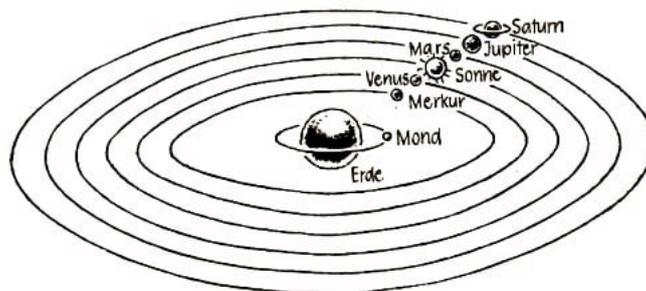
Die Kirche hielt starr an dem alten Weltbild fest, und sie wusste genau, was sie wollte. Dieses ptolemäische Weltbild war nämlich eine große Stütze ihrer Religion und damit ihrer Macht. Nach Ansicht der Kirche war der Mensch von Gott geschaffen und nach göttlichem Ebenbilde geformt.

Folglich durfte er nirgendwo anders seinen Platz haben als im Mittelpunkt der Welt. Wehe, wer daran zu rütteln wagte!

Es gehörten ein sehr klarer Kopf und viel Mut dazu, dieses von der Kirche geheiligte Weltbild umzustößeln. Diesen Mut brachte, wenn auch nach langem Zögern, Nikolaus Kopernikus auf. In seinem Buch stand klipp und klar: Die Erde steht nicht still! Sie dreht sich ständig um ihre eigene Achse.

Gleichzeitig vollführt sie eine zweite Bewegung: Sie kreist um die Sonne.

Und die übrigen Planeten - der Mars, die Venus, der Merkur -, sie alle bewegen sich gemeinsam mit unserer Erde um den Sonnenball. Nur der Mond macht eine Ausnahme. Er kreist um die Erde.

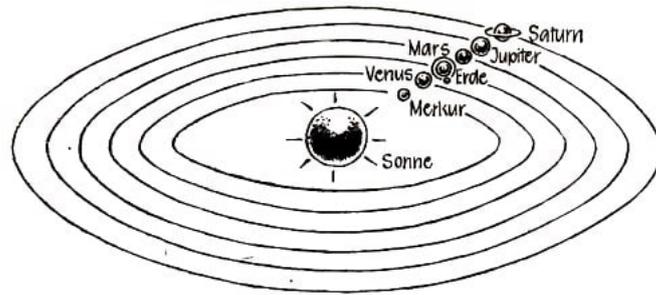


Das falsche Weltbild des Ptolemäus. Damals glaubte man, die Erde stehe unbeweglich im Mittelpunkt des Weltalls.

Was Kopernikus in seinem Buch niedergeschrieben hatte, entspricht der Wahrheit, ist wissenschaftliche Erkenntnis. Aber zunächst wollte die Kirche diese Wahrheit nicht anerkennen.

"Die Erde soll entthront werden?" entrüsteten sich die hohen Geistlichen. "Unsere Erde, auf der wir Gottes Wort verkünden und auf die Gott selbst herabgestiegen ist, soll keinen höheren Rang haben als die anderen Planeten? Das dürfen wir nicht zulassen! Die Menschen würden an Gott und an der Kirche zweifeln."

Und sie setzten sich über alle wissenschaftlichen Beweise hinweg.



Unser Sonnensystem ist nur ein winziger Teil des Weltalls. Die Erde umkreist ebenso wie die anderen Planeten die Sonne.

Sie mischten sich in die astronomische Forschung ein, für die sie niemals zuständig sein konnten. Sie zerrten jeden auf die Scheiterhaufen der Inquisition, der sich zu Kopernikus bekannte. Sie wüteten in Schriften und Predigten; sie taten überhaupt alles, um Kopernikus' Lehre bis auf den letzten Buchstaben zu vertilgen.

Erreichten sie ihr Ziel?

### 1.3 Ein Zweifler rechnet

In jener Zeit die Wahrheit zu vertreten, das war keine Sache für Schwächlinge. Es gehörten mutige und charakterstarke Männer dazu. Der deutsche Mathematikprofessor Michael Mästlin zählte zu ihnen.

Er wirkte damals an der schwäbischen Universität Tübingen. Sein wissenschaftlich geschulter Verstand hatte die Lehre des Kopernikus rasch aufgenommen und für richtig erkannt. Michael Mästlin war entschlossen, der Wahrheit zum Siege zu verhelfen.

Aber eine Idee kann nur siegen, wenn sie von vielen Menschen aufgegriffen wird. Das wusste Mästlin. Täglich stand er im Hörsaal vor jungen Studenten und führte sie in die Geheimnisse der Mathematik ein. Sollten diese jungen Gelehrten die Universität verlassen, ohne von Kopernikus' großartiger Entdeckung gehört zu haben?

Wie sollte sich die Wissenschaft gegenüber der kirchlichen Lüge durchsetzen, wenn die zukünftigen Mathematiker, Astronomen und Techniker unwissend blieben? Mästlin wählte zuverlässige Studenten aus und weihte sie heimlich in die kopernikanische Lehre ein.

Der bescheidene Lehrer hat es sich bestimmt nicht träumen lassen, welch reiche Frucht seine verborgen gebliebene Arbeit einmal tragen würde.



Johannes Kepler

Einer dieser Studenten sollte mit kühnem Forschergeist jenem falschen Weltbild den Todesstoß versetzen. Der Student hieß Johannes Kepler.

Im Jahre 1587 hatte Kepler in Tübingen mit dem Studium begonnen. Noch nicht 20 Jahre alt, legte er 1591 ein ausgezeichnetes Examen ab und erwarb die Magisterwürde. Zehn Jahre später ernannte ihn der deutsche Kaiser Rudolf II. zum kaiserlichen Mathematiker.

In der kaiserlichen Residenzstadt Prag nahm Kepler seine entscheidende Arbeit in Angriff. Sein Vorgänger hatte jahrelang mit großer Sorgfalt die Sterne beobachtet und darüber sehr genaue Protokolle geführt. Dieses wissenschaftlich einwandfreie Beobachtungsmaterial wurde Kepler überlassen.

Mit wahrem Feuereifer stürzte er sich auf die Protokolle. Eine übermenschlich anmutende, jahrelange Rechenarbeit lag vor ihm.

Was wollte Kepler erreichen? Hatte nicht Kopernikus alle Rätsel gelöst?

Kopernikus hatte entdeckt, dass sich die Erde und die anderen Planeten um die Sonne drehen. Aber wie sahen die Bahnen aus, auf denen sich diese Himmelskörper bewegen? Man hatte stets angenommen, die Planetenbahnen müssten kreisförmig sein. Nur der Kreis galt als vollkommen harmonische Linie, weil er schön gleichmäßig gekrümmt ist. Und an der "göttlichen Schöpfung" musste alles vollkommen und schön sein, so auch die Planetenbahnen.

Doch waren sie tatsächlich kreisförmig?

Kepler bezweifelte das. Jahrelang bedeckte er Blatt für Blatt mit Zahlen und Berechnungen. Er legte Tabellen an, stellte Formeln auf und verwarf sie wieder. Er hantierte mit Zirkel und Zeichenstift und grübelte über die verwirrenden Linien nach, die auf dem Papier entstanden waren. Endlich, nach sechsjähriger Rechenarbeit, verkündete er, erlöst und glücklich über seinen Sieg:

Die Planetenbahnen sind nur annähernd Kreise. In Wahrheit bewegen sich die Planeten auf Ellipsen. Und in einem Brennpunkt dieser Ellipsen steht die Sonne.

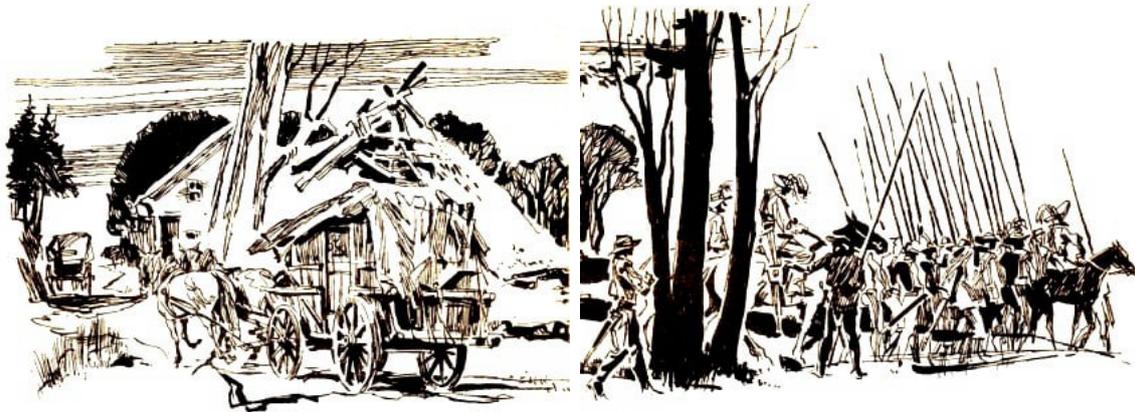
Damit brach wiederum eine jahrhundertalte falsche Auffassung zusammen. Das neue Weltbild wurde dadurch gefestigt.

Jedoch Kepler gab sich mit dem Erreichten nicht zufrieden. Nach weiteren zehn Jahren hartnäckigen Forschens fand er ein noch wichtigeres Gesetz. Er prüfte die Zeitspanne, die ein Planet benötigt, wenn er die Sonne einmal umläuft. Zu seiner großen Freude entdeckte er, dass dabei die Entfernung, die der Planet von der Sonne hat, eine große Rolle spielt. Jetzt konnte er den Lauf der Planeten genau vorausbestimmen.

Das war nicht nur für die Astronomie ein umwälzender Fortschritt; es war der erste große Sieg, den eine wissenschaftliche Erkenntnis über das kirchliche Dogma erringen konnte.

So glücklich Keplers Forschungsarbeit auch verlief, sein Leben brachte ihm nervenaufreibende Sorgen. Mitten in seiner Arbeit erreichte ihn die Nachricht, dass seine alte Mutter von klatschsüchtigen Nachbarn als Hexe verklagt worden war. Kepler ließ alles stehen und liegen und reiste nach Württemberg. Erbittert musste er mit den Behörden

herumstreiten, bevor es ihm endlich gelang, seine Mutter vor dem Scheiterhaufen zu retten.



Während Kepler in Prag einen friedlichen Kampf gegen das alte Weltbild führte, wüteten in Deutschland und Böhmen Landsknechtshorden. Sie trampelten über die Äcker der Bauern, legten Brände und plünderten Städte und Dörfer. Der Dreißigjährige Krieg hatte begonnen.

Kaiser Matthias, der nun regierte, führte Krieg und hatte kein Geld für die Wissenschaft. Kepler bekam sein Gehalt nur unregelmäßig und schließlich gar nicht mehr gezahlt. Der fast Sechzigjährige entschloss sich, nach Regensburg zu fahren, um dort vor dem Reichstag sein Recht zu fordern.

Er hatte schon beinahe das Ziel seiner langen Reise erreicht, als er schwer erkrankte. Die Strapazen und Sorgen hatten seinen Körper zu sehr geschwächt.

Elend und arm starb er am 15. November 1630. So endete das Leben des großen Gelehrten auf einer entwürdigenden Bittreise. Aber sein Lebenswerk hat ihn unvergessen gemacht.

Wir sprechen Keplers Namen mit tiefer Ehrfurcht aus.

## 1.4 Die Zeit steht niemals still

Der Dreißigjährige Krieg ging zu Ende. Habgierige Fürsten zersplitterten Deutschland in 360 Kleinstaaten. In jedem Ländchen galten andere Münzen, gab es andere Maße und Gewichte. Überall ragten Ruinen auf und zeugten von dem langen, schrecklichen Krieg. Die Städte waren ausgeplündert, die Bauern verarmt.

Sie mussten hart arbeiten, um ihr nacktes Leben zu erhalten und die schwere Steuerlast aufzubringen, die ihnen die Fürsten auferlegten. Die Fürsten verschwendeten das Geld für ihre prunkvolle Hofhaltung. Die Wissenschaft aber lag brach in Deutschland.

In England war das anders. Die englischen Bürger waren durch ihren weltweiten Handel, aber auch durch Raub und Ausbeutung reich und mächtig geworden. Deshalb konnten sie von ihrem König größere politische Rechte fordern. Das Königshaus war nicht gewillt, dem ohnehin starken Bürgertum noch mehr Macht zu überlassen. Es kam zur Revolution.

Die Bürger siegten. Sie setzten einen neuen König ein, der nur mit Erlaubnis des Parlaments regieren durfte.

Von nun an herrschte in England das Bürgertum. Unternehmer und Kaufleute strebten nach immer größeren Gewinnen. So sahen sie sich auch gezwungen, die Technik in den Manufakturen und Bergwerken zu verbessern, und deshalb förderten sie die Naturwissenschaft. So ist es zu erklären, dass damals in England viele bedeutende Entdeckungen und Erfindungen gemacht wurden.

Auch Keplers Werk sollte hier weitergeführt werden. Die Wissenschaftler wussten ja nun, dass sich die Planeten auf gekrümmten Bahnen um die Sonne bewegen. Doch warum sich das so verhält, musste noch erforscht werden.

Das war eine schwierige, aber verlockende Aufgabe. Sie rief die bedeutendsten Physiker jener Zeit auf den Plan.

### 1.5 Ein Junge sammelt bunte Steine

An der Ostküste Englands liegt das Dorf Woolsthorpe. Hier wurde 12 Jahre nach Keplers Tod, also 1642, Newton geboren. Er erhielt nach seinem Vater den Vornamen Isaak.

Der junge Isaak Newton war ein erfinderischer Bursche. Er konnte geschickt mit Hammer, Zange und dem Schnitzmesser umgehen. Unter seinen Händen entstanden Sonnen- und Wasseruhren; er baute Modelle von Wassermühlen und dachte sich sogar kleine automatische Spielzeuge aus.

Er bastelte große Drachen und befestigte an ihnen bunte Papierlaternen. In der Nacht ließ er seine Drachen steigen. Die Laternen leuchteten und funkelten dann am dunklen Himmel wie rote, grüne und blaue Sterne.

Die abergläubischen Dorfbewohner erschraaken. Sie glaubten, neue unheilverheißende Kometen seien aufgetaucht. Das hatte Isaak bestimmt nicht beabsichtigt, aber im stillen mag ihn die unbegründete Furcht dieser Leute amüsiert haben.

Isaak betrachtete die Welt, die ihn umgab, mit offenen Augen. Auch über Dinge, die andere gar nicht beachteten, dachte er nach. So wollte er feststellen, wie stark der Wind war, der von See her ins Land blies. Das war nur mit Hilfe von Experimenten möglich, aber Isaak besaß keine Geräte dafür. Er kam auf einen einfachen Gedanken: Er versuchte zunächst gegen den Wind zu springen und danach mit dem Winde. Beim zweiten Mal sprang er natürlich wesentlich weiter. War der Unterschied zwischen den beiden Sprüngen sehr groß, so musste auch ein heftiger Wind wehen. Auf diese Weise schätzte der Junge die Windstärke.

Vielleicht hat Newton später, als er ein berühmter Physiker geworden war, über dieses primitive Experiment gelächelt. Aber er ist stets ein praktisch denkender Mensch geblieben, der nicht nur seinen Kopf, sondern auch seine geschickten Hände zu gebrauchen wusste.

So mussten damals die optischen Linsen für Fernrohre und Brillen in Handarbeit geschliffen werden. Dazu brauchte man sehr viel Geduld und eine feinfühlig Hand. Die Linsenschleifer mussten jahrelang üben, ehe sie es in ihrem Fach zur Meisterschaft

bringen konnten. Auch Newton war im Schleifen von Linsen und Prismen ein Meister. Die besten Londoner Handwerker konnten ihn nicht übertreffen. Er stellte sich fast alle Geräte selbst her, die er für seine Versuche benötigte.

Isaak Newton hatte im Jahre 1661 an der weltbekannten Cambridge-Universität zu studieren begonnen. Seine Eltern waren nicht wohlhabend.

Deshalb wurde Newton an der Universität als "Subserver" aufgenommen. So nannte man arme Studenten, die während des Studiums die Magister bedienen mussten und dafür bezahlt wurden. Aber Newton blieb nicht lange Subserver.



Isaac Newton

Nach sieben Jahren war er selbst Magister. Wiederum ein Jahr darauf erhielt er bereits einen Lehrstuhl. Er war 19 Jahre alt, als er sein Studium begonnen hatte, mit 27 Jahren stand er nun selbst als sehr junger, aber hochgeachteter Professor vor seinen Studenten. Wie ist dieser großartige Aufstieg zu erklären? Wurde Newton von dem Ehrgeiz getrieben, sich Macht, Geld und Ansehen zu erobern? Oder hatte er reiche Gönner, die ihm eine unverdiente Stellung verschafften?

Seine Lehrer hätten ihn gern, so wie jeder ehrliche und fleißige Schüler von seinen Lehrern geliebt wird. Aber seinem Fleiß allein sind Newtons frühzeitige Professorenwürde und auch seine späteren Erfolge nicht zu verdanken. Ein Freund von ihm hat uns überliefert, wie Newton über seine großen Leistungen dachte. Kurz vor seinem Tode - Newton starb hochbetagt mit 84 Jahren - sagte er diesem Freunde:

"Ich komme mir nur wie ein kleiner Junge vor, der am Meeresstrande spielt und sich darüber freut, dass er ab und zu ein ungewöhnlich buntes Steinchen oder eine rote Muschel findet."

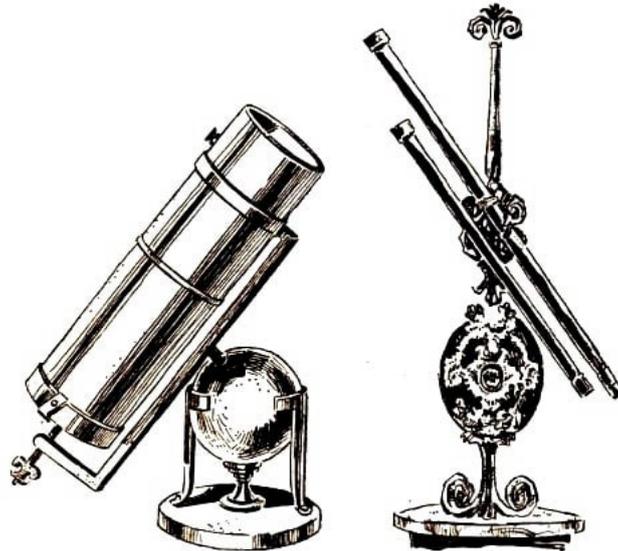
Das also ist die Erklärung: Stets erfüllte ihn große Freude, wenn er die Natur beobachtete, ihre Gesetze enthüllte und Neues entdeckte. Diese ehrliche und reine Freude am Forschen war seine Triebkraft, als er noch studierte, und sie blieb es sein ganzes Leben hindurch. Deshalb diente er nur der Wissenschaft und verzichtete sogar auf Ehe und Familie.

Wie bescheiden sprach er über seine Arbeit! Seine umwälzenden Entdeckungen verglich er mit Steinchen und Muscheln! Welche "ungewöhnlich bunten Steinchen" und "rote Muscheln" entdeckte Newton?

Er war ein sehr vielseitiger Naturwissenschaftler, beschäftigte sich mit der Optik, Mechanik, Astronomie, Chemie und Mathematik.

Newton erfand ein Spiegelfernrohr, mit dem man den Sternenhimmel besser beobachten konnte als mit den damals verbreiteten Linsenfernrohren.

Für den Hohlspiegel seines Instruments entwickelte er ein neues Polierverfahren. Newtons Spiegelfernrohr wurde im Verlaufe der Jahrhunderte immer weiter verbessert, und mit solchen Geräten gelangen bis in unsere Zeit wichtige astronomische Entdeckungen.



Newtons Spiegelfernrohr und Astronomisches Fernrohr aus der Zeit Keplers

Newton untersuchte auch das Sonnenlicht. Er entdeckte, dass man es in mehrere Farben, die Spektralfarben, zerlegen kann. Vereinigt man die Spektralfarben wieder zu einem Lichtbündel, so erhält man erneut weißes Licht. Mit dieser Entdeckung konnte Newton auch erklären, wie ein Regenbogen entsteht.

Newton entdeckte wichtige Gesetze der Mechanik. Wir lernen diese Gesetze noch heute in der Schule. Eines davon kennen wir alle, den Trägheitssatz, mit dem Newton die Trägheit der Masse erklärte.

Die von Newton gefundenen Gesetze bestimmten über Jahrhunderte hinweg das gesamte physikalische Denken der Menschen. Man nennt Newton deshalb den "Vater der klassischen Physik".

Im Alter von 45 Jahren vollendete Newton seine größte Forschungsarbeit. Bereits als junger Gelehrter hatte er die Arbeiten Keplers studiert. Er kannte die Gesetze der Himmelsbewegungen, die der hervorragende Astronom errechnet hatte. Er erkannte:

Die Himmelskörper können sich nicht von selbst in ihrer gekrümmten Umlaufbahn halten; große, noch unerforschte Kräfte müssen im Weltall vorhanden sein, die das bewirken.

Bereits Kepler hatte darüber nachgedacht, gegrübelt.

Newton wollte diese geheimnisvollen Kräfte finden, und er hatte Erfolg. Im Jahre 1687 veröffentlichte er eine umwälzende Entdeckung. Mit einem Schlage konnte er nun mehrere Rätsel erklären, die bis dahin ungelöst waren: Newton bewies die Ursache der Planetenbewegung. Er konnte angeben, warum es an den Meeresküsten regelmäßig zu

Ebbe und Flut kommt. Was uns aber besonders interessiert: Er enthüllte das Geheimnis, warum alle Körper schwer sind, warum sie Gewicht haben.

Was hatte Newton gefunden?

Er hatte die "Weltgravitation" entdeckt!

## 1.6 April - April!

Vor Jahren fiel mir beim Zeitunglesen folgende Notiz auf:

"Eine neue Wurftechnik erfand der bekannte Handballspieler X. Er hält den Ball wie einen Diskus in seiner ausgestreckten Rechten. Dann wirbelt der Spieler mit höchster Schnelligkeit um seine eigene Achse. Der Ball beschreibt dabei mit der ausgestreckten Hand eine Kreisbahn. Wird dann der Ball plötzlich losgelassen, so behält er - zur Verblüffung aller Zuschauer - diese Kreisbewegung bei.

Es ist ein hinreißender Anblick, wie der Ball mehrmals rund um den Spieler herumfliegt, bis er schließlich sacht auf dem Boden landet."

Eine Sensation! Ich war schon entschlossen, die Sache im Garten auszuprobieren, als mein Blick auf das Datum fiel: 1. April.

Ich überlegte.

Wenn die Zeitungsleute ihre Leser in den April schicken, dann stellen sie das besonders schlaue an. Sie sammeln einige kuriose Begebenheiten, die sich tatsächlich irgendwo zugetragen haben. Aber dann denken sie sich noch ein paar faustdicke Lügen aus und mischen das Ganze zu einer amüsanten, bunten Seite. Der bedauernswerte Leser wird doppelt gefoppt:

Die echten Meldungen hält er für Aprilscherze, aber die erdachten Geschichten sind so gut erschwindelt, dass der Leser sie glaubt. Aber mich sollten die Redakteure nicht reinlegen!

Ich nahm meinen alten Fußball und ging voller Tatendrang in den Garten. Wie es in der Zeitung beschrieben war, drehte ich mich im Kreise, bis mir schwindlig wurde. Als ich glaubte, der Ball müsse nun genügend Schwung haben, ließ ich ihn los. Benommen starrte ich ihm nach.

Er flog schnurgerade über den Zaun in das Nachbargrundstück. Ich gab nicht auf, probierte weiter und angelte den Ball nacheinander aus der Regenrinne, vom Apfelbaum und aus der Hundehütte.

Eigentlich hätten einige Fensterscheiben daran glauben müssen, aber der Ball flog erneut über den Zaun, direkt in einen vorüberratternden Lastwagen.

Mit einem brummenden Kopf und ohne Ball stieg ich auf den Boden und kramte meine alten Physikbücher hervor. Ich suchte im Stichwortverzeichnis unter "Bewegung". Doch was für eine Bewegung?

Der Ball sollte einen Kreis beschreiben. Also "Kreisbewegung"!

Ich hatte mich von den Zeitungsleuten anführen lassen. Dabei hätte ich es besser wissen müssen. In der Schule hatte ich alles Notwendige gelernt, aber wieder vergessen. So

eine Blamage!

Wenn sich ein Körper im Kreise bewegen soll, ist dazu eine besondere Kraft notwendig. Sie sorgt dafür, dass der Körper stets in der Kreisbahn verbleibt. Solange ich den Ball mit meiner ausgestreckten Hand festhielt, war diese Kraft vorhanden; der Ball bewegte sich im Kreis. Nachdem ich ihn losgelassen hatte, war auch diese Kraft nicht mehr da. Folglich flog der Ball nun geradeaus weiter.

Die hierzu benötigte besondere Kraft muss immer auf den Mittelpunkt des Kreises gerichtet sein, also auf das Zentrum. Man nennt sie deshalb auch Zentralkraft. Und die Bewegung, bei der die Zentralkraft auftritt, heißt Zentralbewegung.

Die Zentralkraft kann man leicht nachweisen. An eine längere Schnur wird eine leere Feldflasche gebunden, dann fassen wir das andere Ende und lassen die Flasche um uns wie ein Lasso kreisen. Deutlich spüren wir, wie die kreisende Feldflasche an der Schnur zieht und sie straff hält.

Die Flasche würde sofort aus dem Kreis herausfliegen, wenn wir die Schnur nicht festhalten würden. Die Kraft, die wir dabei aufbringen, ist die Zentralkraft. Sie zwingt den Körper, in der Kreisbahn zu bleiben, sie zwingt ihn, eine Zentralbewegung auszuführen.

Überall, wo wir eine Zentralbewegung beobachten, lässt sich die Zentralkraft nachweisen. Der Hammerwerfer, der die an einem Stahlseil befestigte Eisenkugel schleudert, muss mit beiden Fäusten kräftig zupacken, um die Eisenmasse (7,250 Kilogramm) im Abwurfkreis zu halten.

Wir staunen über die Kraft der Rollschuhartisten, wenn sie im atemberaubenden Tempo herumwirbeln und dabei einen Partner festhalten.

Die Zentralkraft kann verschieden groß sein. Auch das können wir selbst ausprobieren. Zunächst füllen wir die Feldflasche mit Wasser. Dadurch erhält sie eine größere Stoffmenge, also mehr Masse. Jetzt müssen wir auch eine viel größere Zentralkraft aufbringen, um die mit Wasser gefüllte Flasche in eine gekrümmte Bahn zu zwingen. Danach lassen wir die Flasche erst langsam, dann allmählich immer schneller kreisen. Wir bemerken, dass wir an der Schnur um so kräftiger ziehen müssen, je schneller die Masse kreist.

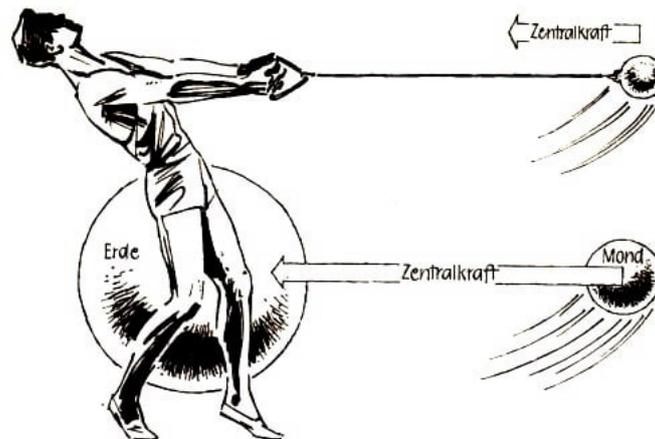
Wir können also festhalten: Je größer die Masse des Körpers ist und je schneller er kreist, desto größer muss die Zentralkraft sein.

Was hat das mit dem Planetensystem zu tun?

Wie wir schon wissen, führt ein Planet annähernd eine Kreisbewegung um die Sonne aus. Folglich muss auch er von einer Zentralkraft in seiner Bahn gehalten werden, sonst flöge er davon, ins Weltall hinein. Das gleiche gilt auch für den Mond, der unsere Erde umkreist.

Newton wusste das alles. Er stellte sich jedoch eine komplizierte Aufgabe: Er wollte die Zentralkraft finden, die den Mond schon seit Jahrmillionen in seiner Kreisbahn hält. Obwohl der Mond ein verhältnismäßig kleiner Himmelskörper ist, muss die Zentralkraft recht beachtlich sein. Der Mond hat immerhin eine Masse von  $7,4 \cdot 10^{22}$  Kilogramm,

anders ausgedrückt von 74 000 000 000 000 000 Tonnen.



Der Mond wird ebenso wie die Eisenkugel von einer Zentralkraft in die gekrümmte Bahn gezwungen

Dieser gewaltige Körper umläuft die Erde in  $27\frac{1}{3}$  Tagen. Sie saust also mit einer hohen Geschwindigkeit durch den Weltraum. In einer Sekunde legt sie einen Weg von fast 100 Kilometern zurück.

Eine gigantische Zentralkraft musste hier wirken und den Mond in seine Bahn zwingen! Aber woher kam diese Kraft?

Eine alte, weit verbreitete Anekdote erzählt, dass Newton eines Tages beobachtete, wie sich ein Apfel vom Baum löste und auf die Erde plumpste. Ein alltäglicher Vorgang; der Apfel wird ja von der Erde angezogen - er hat Gewicht. Newton hatte ähnliches schon oft beobachtet, aber diesmal wurde er nachdenklich.

"Könnte es nicht sein", so grübelte er, "dass unsere Erde nicht nur den Apfel, sondern auch den Mond anzieht? Damit wäre die geheimnisvolle Kraft gefunden."

Mag diese Anekdote wahr oder mag sie erfunden sein; Newton dachte jedenfalls jahrelang über die Schwerkraft nach. Ebenso wie Kepler musste er langwierige und verzwickte Berechnungen vornehmen. Die Berechnungen waren so kompliziert, dass Newton sogar eine neue Rechenmethode erfinden musste, die Infinitesimalrechnung.

Doch dann konnte Newton das Ergebnis seiner Forschungen verkünden. Die Wissenschaftler horchten auf, denn Newton hatte eine sensationelle Entdeckung gemacht:

Das Gewicht, das den Apfel zur Erde fallen lässt, und die Kraft, die den Mond in seine Bahn zwingt, haben ein und dieselbe Ursache: Apfel und Mond werden von der Erde angezogen!

Aber das ist noch nicht alles. Die Erde wiederum wird vom Mond angezogen. Seine Anziehungskraft ist groß genug, um auf der Erde Ebbe und Flut hervorzurufen. Dadurch wird das Wasser aller Ozeane zweimal am Tage bis zu zehn Metern hochgehoben und wieder fallen gelassen. Könnte man diese Naturkraft schon heute ausnutzen, so brauchte die Menschheit keinen Finger zu rühren, um so viel Energie zu erzeugen, wie gebraucht wird.

Was für phantastische Kräfte sind hier wirksam?

Newton kam zu einem ebenso einfachen wie kühnen Schluss: Alle Massen, ohne Unterschied, ziehen sich gegenseitig an.

Was bedeutet das?

Die Erde zieht den Apfel an und der Apfel die Erde. Die Erde zieht den Mond an und wird ebenfalls von ihm angezogen. Die Sonne wiederum zieht die Erde an und die Erde die Sonne.

Auch zwei Murmeln in der Hosentasche ziehen sich gegenseitig an!

Newton nannte diese Massenanziehungskraft Gravitation. Sie herrscht überall in der Welt, sowohl auf unserer Erde als auch auf den fernsten Sonnensystemen des Weltalls. Dabei ist gleichgültig, ob die Körper aus Stein, Holz, Glas, Wasser, Eisen, Papier, Luft oder irgendeinem anderen Stoff bestehen.

Die Gravitation ist eine Eigenschaft, der jede Masse unterliegt.

Das also ist die "Weltgravitation", die Newton entdeckt hat. Damit vollbrachte er eine wissenschaftliche Großtat. Jetzt konnte er die Kräfte nennen, die in unserem Planetensystem wirksam sind. Mehr noch, er konnte diese Kräfte sogar berechnen.

An der Lehre des Kopernikus war nicht mehr zu rütteln. Das tausendjährige falsche Weltbild zerbrach. Nur eineinhalb Jahrhunderte waren vergangen, seit Kopernikus der Menschheit jenes denkwürdige Buch "Über die Kreisbewegung der Himmelskörper" geschenkt hatte.

Aber in diesen 150 Jahren hatten mutige Gelehrte unermüdlich um die wissenschaftliche Wahrheit gerungen. Sie gewannen diesen Kampf, weil sie mit exakten wissenschaftlichen Methoden geforscht hatten. Ihr Sieg war ein glänzendes Beispiel dafür, dass es nur einen Weg zur Wahrheit geben kann: den Weg der Wissenschaft.

Newtons Entdeckung ist noch aus einem anderen Grunde für uns bedeutsam. Gibt sie doch die Antwort darauf, warum alle Körper eine bestimmte Schwere haben!

Jeder Körper ist schwer, weil er eine Masse besitzt, die ständig von der Erde angezogen wird. Deshalb zieht ein schwerer Koffer mit aller Macht an unserem Arm. Deshalb spüren wir den starken Druck, den er ausübt, wenn wir ihn auf unsere Schulter laden. Deshalb rutscht uns der Koffer bei einem ungeschickten Schritt auf der Treppe von der Schulter und poltert die Stufen hinab - eine sehr unangenehme Seite der Massenanziehungskraft. Sie ist die Ursache dafür, dass wir einen Körper nur unter Kraftanstrengung heben können. Das Gewicht ist also nichts anderes als ein Teil der Weltgravitation.

Geben wir uns mit diesen Erklärungen vollkommen zufrieden?

Sind damit alle Fragen beantwortet, die uns nunmehr beschäftigen? Im Gegenteil! Es tauchen neue Probleme auf - und Zweifel.

## 1.7 Eine Spur unter dem Bücherschrank

Auf meinem Schreibtisch liegen zwei blanke Messingkugeln. Ich habe sie vor drei Tagen dort hingelegt und nicht wieder an sie gedacht. Jetzt fällt mir das wieder ein. Die beiden Kugeln liegen immer noch so, wie ich sie hingelegt hatte.

Wie komme ich darauf? Was ist daran interessant?

Wenn Newton recht hat, dann müssten sich die beiden Messingkugeln gegenseitig anziehen. Sie müssten, von der Gravitationskraft bewegt, aufeinander zurollen. Sie hatten drei volle Tage Zeit dazu, doch diesen Gefallen taten sie mir nicht.

Die Kugeln liegen auf einer Glasscheibe und haben nur eine geringe Reibung. Wenn ich eine der Kugeln nur mit dem kleinen Finger sacht antippe, rollt sie schon.

Vielleicht liegen die Kugeln zu weit voneinander entfernt? Ich lege sie so dicht aneinander, dass sie nur noch durch einen haarfeinen Zwischenraum getrennt sind. Stunden später schaue ich wieder nach: Der Zwischenraum ist noch vorhanden. Die Kugeln ziehen sich nicht an!

Ein Rätsel? Sollte uns Newton mit seiner Behauptung an der Nase herumgeführt haben?

Wir werden sehen, Ich habe noch mehr Massen im Zimmer, zum Beispiel den Bücherschrank. Er ist vollgestopft mit Büchern. Daneben steht noch ein zweiter Schrank. Mein Zeitungsarchiv ist darin untergebracht. Die beiden Schränke haben eine weitaus größere Masse als die Kugeln. Auch sie stehen ziemlich dicht beieinander. Nur ein Abstand von fünf Zentimetern trennt sie. Die Schränke stehen seit Jahren auf ihrem Platz; das kann ich beedinen.

Es ist ihnen noch nicht eingefallen, Newton zuliebe zusammenzurücken.

Ich will dieser Sache auf den Grund gehen. Ich räume den Bücherschrank aus und rücke ihn von der Wand ab. Aufmerksam betrachte ich den Platz, auf dem der Schrank vorher gestanden hat. An der Tapete hängt Staub.

Eine aufgestörte Spinne flüchtet. Ich bücke mich nach einem Gramm-Stück, das - wer weiß wann - unter den Schrank gekullert ist. Es ist aus Messing und nicht größer als ein Pfennig. Ich stecke das leichte Gewicht achtlos ein und betrachte interessiert den Fußboden. Entdecke ich dort des Rätsels Lösung?

Ja! Ich entdecke eine Spur.

Auf dem linoleumbelegten Fußboden zeichnen sich scharfe quadratische Eindrücke ab. Als Physiker würde ich sagen, der Fußboden sei verformt worden. Das vermag aber nur eine Kraft, und in diesem Falle muss es eine ziemlich große gewesen sein.

Welche Kraft war hier am Werke? Keine andere als die Gravitation, oder genauer gesagt, die Anziehungskraft der Erde! Sie presste den Schrank fest gegen das Linoleum. Im Laufe der Zeit prägten die quadratischen Schrankfüße diese Abdrücke in den Fußbodenbelag. Nun wissen wir, warum sich die Schränke nicht aufeinander zuschieben können, obwohl sie sich gegenseitig anziehen.

Die Erde nagelt sie gleichsam am Fußboden fest. Die Anziehungskraft zwischen Schrank und Schrank ist äußerst gering. Ebensogut könnte ich eine Stubenfliege vor meinen Bücherschrank schirren und erwarten, sie solle ihn von der Stelle bewegen.

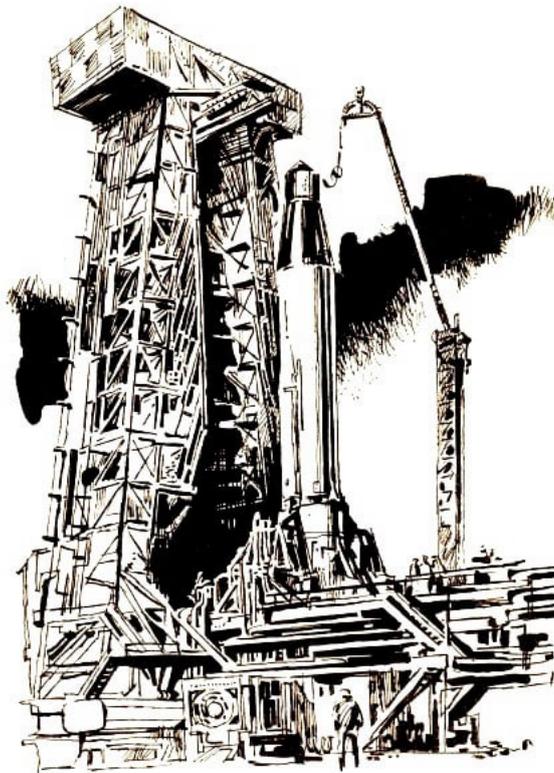
Warum ist die Anziehungskraft zwischen den Schränken so klein und zwischen Erde und Schrank so groß?

Newton hat genau angegeben, unter welchen Bedingungen die Massenanziehungskraft zunimmt oder kleiner wird. Das hängt von zwei Dingen ab.

Erstens von der Größe der Masse. Mein Gramm-Stück, das ich wiedergefunden habe, übt nur eine winzige Anziehungskraft aus. Sie ist so klein, dass man sie auch mit den feinsten Messgeräten nicht mehr nachweisen kann. Die Anziehungskraft zwischen den büchergefüllten Schränken ist bereits etwas größer.

Aber die Erde beherrscht mit ihrer Gravitationskraft alle irdischen Körper, denn ihre Masse ist riesengroß. Denken wir uns die Erde als Hohlkugel, so könnten wir sie mit 81 Monden ausfüllen.

Zweitens spielt der Abstand zwischen den Körpern eine Rolle. Je dichter zwei Massen zusammenkommen, desto stärker ziehen sie sich an. Entfernen wir sie voneinander, so nimmt die Gravitationskraft ab. Das lässt sich am Gewicht der Körper leicht nachweisen. Wenn ich auf einen sehr hohen Berg gestiegen bin, habe ich mich vom Erdschwerpunkt weiter entfernt. Mein Gramm-Stück wird leichter sein als vorher.

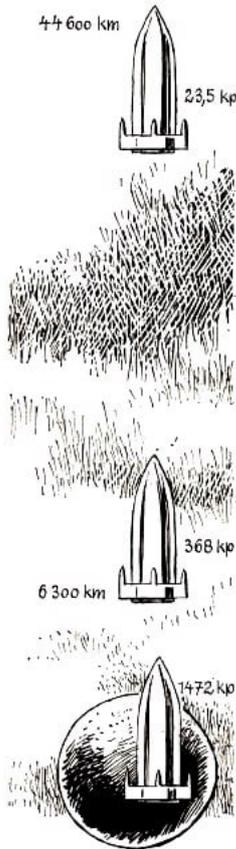


Das sowjetische Weltraumschiff "XXI. Parteitag" wog auf der Erde 1472 Kilopond.

Je weiter sich das Weltraumschiff von der Erde entfernt, desto leichter wird es, selbst wenn es seine Masse beibehielt.

Nach dem Abschuss entfernte es sich ständig weiter von der Erde. Dabei wurde es immer leichter. In 6300 Kilometer Höhe wog es nur noch ein Viertel seines Gewichts auf der Erde. Als es sich von der Erde 44600 Kilometer weit entfernt hatte, wog es nur noch 23 Kilopond und 552 Pond.

Dabei ist nicht berücksichtigt, dass das Raumschiff während seines Fluges an Masse verloren hat. Es verbrauchte ja den Treibstoff und warf die ausgebrannten Raketentufen ab.



Auf meinem Schreibtisch blinken jedoch noch die beiden Messingkugeln.

Es erscheint uns unvorstellbar, dass zwischen den beiden Kugeln unsichtbare Kräfte wirken und dass die Kugeln aufeinander zustreben. Und dennoch ist es so.

Ich habe mir ausgerechnet, wieviel Masse jede Kugel hat. Sie beträgt gerade ein Kilogramm. Ich rolle die Kugeln aufeinander zu und messe dabei mit dem Lineal nach, bis sie genau zehn Zentimeter Abstand voneinander haben. Nach meiner Berechnung beträgt jetzt die Gravitationskraft gerade 0,0007 Millipond. Das ist weniger als ein millionstel Pond.

Selbst eine Ameise entwickelt im Vergleich dazu wahre Titanenkräfte.

Wie soll man diese winzige Kraft messen? Auch Newton, der viele komplizierte Versuche angestellt hatte, konnte diese Aufgabe nicht lösen. Er hielt es für unmöglich, die Gravitation zwischen zwei irdischen Körpern nachzuweisen. Doch in diesem Falle sollte sich Newton irren!

Die Wissenschaftler fanden im Laufe der Zeit immer ausgeklügeltere Methoden. Die Mechaniker bauten ihnen die allerfeinsten Geräte dafür.

## 1.8 100000 Kilogramm Blei

Man schrieb das Jahr 1892.

Nur wenige Kilometer von Berlin entfernt lag die Festung Spandau. Von einem Wasserlauf umflossen, erhoben sich grau und drohend die schmucklosen Mauern der Zitadelle, nur überragt von einem wuchtigen, stumpfen Turm.

Die Festung war im 16. Jahrhundert gebaut worden. Im Verlaufe ihrer Geschichte hatten Deutsche, Schweden und Franzosen blutige Kämpfe um ihren Besitz ausgefochten. Zuletzt hatte hier im Jahre 1813 die preußische Befreiungsarmee gegen Napoleons Truppen gekämpft. Jahrzehnte später gelangte dann der dicke Turm der Zitadelle - man nannte ihn "Juliusturm" - noch zu einer traurigen Berühmtheit.

Es war nach dem Deutsch-Französischen Kriege 1870/71. Die deutschen Truppen hatten mit ihren überlegenen Waffen die französischen Armeen geschlagen.

Nun erpressten die deutschen Fürsten von dem besiegten französischen Volk eine unermesslich hohe Kriegsschädigung. Ein großer Teil dieser Summe, und zwar 120 Millionen Goldmark, verschwand hinter den meterdicken Mauern des Juliusturmes. Während unzählige Kriegsinvaliden mit ihren Familien in bitterster Armut leben mussten, wurde das viele Geld als Reichskriegsschatz für den nächsten Krieg gehortet.

Doch nicht von dieser unerfreulichen kriegerischen Vergangenheit der Festung soll hier

berichtet werden, sondern von einer großen wissenschaftlichen Leistung, die hier gegen Ende des 19. Jahrhunderts vollbracht wurde.



Eines Tages rollten über die Zugbrücke der Festung Spandau schwerbeladene Pferdewagen. Unter ihrem Gewicht ächzten die hölzernen Brückenpfeiler bedenklich. Die Fuhrwerke knarrten langsam am Juliusturm vorbei in das Innere der Zitadelle. Sie hielten vor einer Kasematte, einem unterirdischen Gewölbe, das mit einer hohen Erdschicht bedeckt war. In solchen Kasematten suchten sonst die Soldaten Schutz, wenn ein Feind die Festung belagerte und mit Granaten beschoss.

Als die Wagen anlangten, standen schon mehrere Arbeiter zum Entladen bereit. Auf den Fuhrwerken lagen viele Barren eines schmutziggrauen, glanzlosen Metalls. Ein Arbeiter untersuchte es näher. Er ritzte mit seinem Daumnagel eine Kerbe in das weiche Material. Dann hob er einen Barren prüfend an. Das Metall wog ungewöhnlich schwer; es konnte nur Blei sein.

Die Arbeiter spuckten in ihre Hände und schleppten die Bleibarren in das Gewölbe hinunter. Dort setzten sie die Barren auf einem vorbereiteten Fundament zu einem einzigen Quader zusammen. So entstand ein Bleiblock von ungewöhnlicher Größe, etwa zwei Meter hoch und ebenso lang und breit. Der Rauminhalt mochte acht Kubikmeter betragen.

Was sollte diese gewaltige Bleimasse dort unten in der Kasematte?

Seit Newtons Zeit waren zwei Jahrhunderte vergangen. Der Mensch duckte sich längst nicht mehr wie ein verschüchtertes, ängstliches Kind vor den Naturgewalten. Mutige und nüchtern denkende Männer experimentierten an den Labortischen und Prüfständen, grübelten und rechneten an ihren Zeichenbrettern.

Diese Techniker und Wissenschaftler schreckten vor keinem auch noch so schwierigen Experiment zurück. Sie waren entschlossen, alle Rätsel zu entwirren, die ihnen die Natur noch aufgab.

Ein solcher Mann war Franz Richarz. Er war Physiker und stammte aus Endenich am Rhein. Aber nun, im Alter von 32 Jahren, wirkte er weit von seinem Geburtsort entfernt im Norden Deutschlands an der Universität Greifswald. Sein Kopf war voller Pläne.

Es gab noch so viele ungeklärte Erscheinungen, die erforscht werden mussten, allein schon auf dem Gebiet des Magnetismus oder der Elektrolyse. Da waren auch die Gase, jene unsichtbaren, scheinbar gewichtslosen und doch mit so großer Naturkraft ausgestatteten Körper. Mit alledem wollte er sich später befassen.

Zunächst fesselte ihn ein anderes Problem: das Geheimnis der Gravitationskraft, die zwischen allen Massenkörpern auf der Erde und im Weltall wirkt und die Newton entdeckt hatte.

Richarz reizte es, diese Kraft eingehend zu erforschen. Er wollte sogar zeigen, was Newton für unmöglich gehalten hatte, dass nämlich diese Kraft auch zwischen irdischen Körpern wirksam ist. Er hatte eine Versuchsmethode ersonnen, von der er sich einen guten Erfolg erhoffte.<sup>1</sup> Aber Richarz brauchte für dieses Experiment ein ungewöhnliches Laboratorium.

Es musste ein Raum sein, der gegen Wärmeschwankungen geschützt war, aber gleichzeitig auch gegen jede noch so geringe Erschütterung. Deshalb forschte er nach einem Gewölbe mit festen Fundamenten und sehr dicken Mauern. Schließlich fiel die Wahl auf die Spandauer Kasematte; und Richarz erhielt auch die Erlaubnis, dort zu experimentieren. Das war im Jahre 1887.

Die Arbeit, die nun folgte, glich einem Geduldsspiel. In der Kasematte herrschte eine hohe Luftfeuchtigkeit, die Richarz nicht brauchen konnte. Deshalb ließ er die Innenwände mit verlöteten Blechplatten verkleiden.

Dann wiederum musste die Kasematte gegen die jährlichen Temperaturschwankungen abgeschirmt werden.

Für den geplanten Versuch brauchte Richarz die empfindlichsten Messgeräte, eine Waage, Gewichtsstücke, ein Beobachtungsfernrohr für die Skala. Ein Mechaniker stellte sie mit größter Genauigkeit her. Über allen diesen Vorbereitungen vergingen Jahre. Schließlich, 1892, konnte er den großen Bleiklotz aufstellen lassen.

Was wollte er mit diesem Ungetüm anfangen?

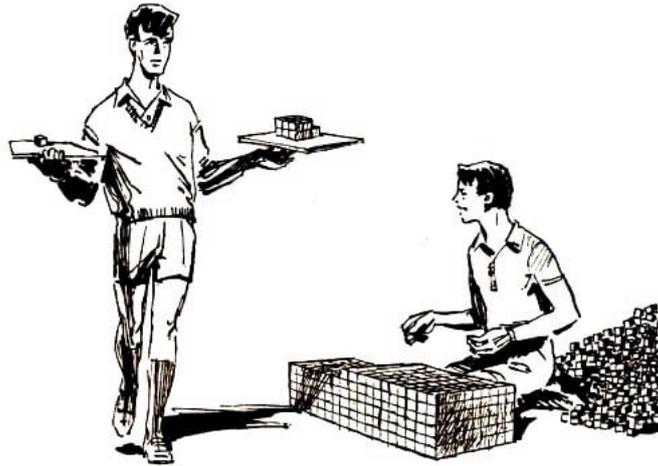
Die Gravitationskraft, die zwischen zwei irdischen Körpern auftritt, ist winzig klein. Richarz aber wollte diese Kraft nachweisen und messen; also musste er für seinen Versuch eine sehr große Masse benutzen. Aus diesem Grunde wählte er Blei. Blei hat nämlich eine viel größere Dichte als zum Beispiel Eisen oder gar Holz.

Was man unter Dichte versteht, lässt sich mit wenigen Worten erklären. Denken wir uns drei gleichgroße Würfel von je einem Kubikzentimeter Rauminhalt. Aber die Würfel sollen aus verschiedenen Stoffen bestehen, und zwar aus Blei, Eisen und Holz.

Diese drei Würfel haben zwar die gleiche Form und den gleichen Rauminhalt, aber ihre Massen sind recht verschieden groß. Ein Versuch an der Balkenwaage bestätigt das. Fast 23 Holzwürfel müsste man auf die eine Waagschale legen, damit sie einem Bleiwürfel das Gleichgewicht halten. Seine Masse ist also beinahe 23mal größer als die eines Holzwürfels.

---

<sup>1</sup>Der englische Physiker Cavendish hatte bereits 100 Jahre zuvor die Gravitationskraft durch einen Versuch nachweisen können.



Von den drei Würfeln hat der Bleiwürfel die größte Masse, und zwar 11,3 Gramm. Die Masse des Eisenwürfels beträgt 7,8 Gramm. Weitaus geringer ist die Masse des Holzwürfels, nämlich 0,5 Gramm.

Dieser Vergleich zwischen Masse und Rauminhalt wird mit der Dichte angegeben. Die Dichte des Bleis beträgt 11,3 Gramm je Kubikzentimeter, kurz ausgedrückt  $11,3 \text{ g/cm}^3$ . Was kann man mit der Dichtezahl anfangen?

Vielleicht wollen wir wissen, wie groß die Masse jenes geheimnisvollen Bleiklotzes in der Kasematte war. Auf eine Waage kann man den Koloss nicht legen. Aber man kann seine Masse errechnen, wenn man die Dichte des Bleis kennt. Diese Aufgabe ist leicht zu lösen.

Der Klotz war etwa 2 Meter lang, 2 Meter breit und 2 Meter hoch. Wie viele kleine Kubikzentimeter-Würfel mögen darin enthalten sein? Es waren  $2 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} = 200 \text{ cm} \cdot 200 \text{ cm} \cdot 200 \text{ cm} = 8\,000\,000 \text{ cm}^3$ .

Der Klotz enthielt also 8 Millionen Kubikzentimeter Blei. Da jeder einzelne Würfel eine Masse von 11,3 Gramm besaß, machten 8 Millionen Würfel eine Masse von  $8\,000\,000$  mal 11,3 Gramm gleich  $90\,400\,000$  Gramm oder  $90\,400$  Kilogramm oder  $90,4$  Tonnen<sup>2</sup> aus.

Dem Forscher stand also eine beachtliche Masse zur Verfügung. Natürlich hätte er ebenso gut einen Eisenklotz verwenden können, denn die Gravitationskraft tritt ja bei allen Körpern in Erscheinung. Aber ein eiserner Klotz, der die gleiche Masse von  $90$  Tonnen aufweisen soll, würde annähernd den doppelten Platz einnehmen. Das wäre für den Versuch unzweckmäßig gewesen.

Richarz traf mit seinen Assistenten sorgfältig die letzten Vorbereitungen für das Experiment. Etwas erhöht auf einem festen Fundament stand der graue Bleiquader. Man hatte ihn an zwei Stellen senkrecht durchbohrt.

Über dem Bleiklotz stellte der Forscher eine äußerst genaue Balkenwaage auf. An beiden Waagschalen befestigte er je eine lange Eisenstange, und diese Stangen führte Richarz in die senkrechten Bohrlöcher ein. An der Unterseite des Klotzes kamen die Stangen wieder zum Vorschein. Ihre Enden waren mit Haken versehen, an die Richarz noch ein

---

<sup>2</sup>Richarz verwendete für seinen Versuch einen Bleiklotz von  $100\,000$  Kilogramm

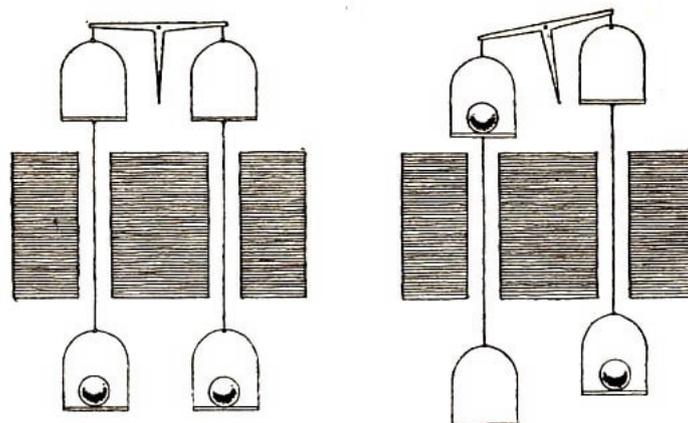
weiteres Paar Waagschalen hängte.



Der Versuch konnte beginnen. Richarz durfte sich der Waage nicht nähern. Sie arbeitete so empfindlich, dass bereits seine eigene Körperwärme die ganze Messung verdorben hätte. Deshalb stand der Physiker abgeschirmt hinter einer hohen doppelten Zinkwand und musste die Messskala durch ein Fernrohr betrachten. Alle notwendigen Handgriffe an der Waage vollführte ein sinnreich ausgeklügelter Mechanismus, den Richarz über Hebel und Ketten bedienen konnte.

Richarz beförderte zwei Kilogramm-Stücke zunächst auf die oberen Schalen seiner Doppelwaage. Die Stücke, zwei Kugeln, bestanden aus gehämmertem Kupfer und waren vergoldet. Ein Mechaniker hatte sie mit äußerster Präzision hergestellt, so dass ihre Massen genau übereinstimmten. Richarz spähte durch das Fernrohr. Er beobachtete, dass die Waage vollkommen im Gleichgewicht blieb. Das verwunderte ihn nicht, denn an jeder Seite des Waagebalkens hingen ja die gleichen Massen, nämlich je zwei Waagschalen, eine Stange und eine Kilogramm-Kugel.

Wieder arbeitete Richarz vorsichtig und geduldig an den Hebeln und Ketten, bis die beiden Kugeln auf den unteren Schalen ruhten. Das Ergebnis war das gleiche: die Waage blieb im Gleichgewicht.



Franz Richarz' Messversuch mit der Doppelwaage (die schraffierte Fläche stellt den Bleiklotz dar)

Aber dann zeigte Richarz etwas Erstaunliches.

Er nahm eine Kugel von der unteren Waagschale und legte sie auf die obere Schale. Die zweite Kugel ließ er an ihrem Platz. Jetzt befand sich also ein Messkörper auf einer oberen, der andere jedoch auf einer unteren Schale. Wie vorher hing auch nun an jeder

Seite des Waagebalkens die gleiche Masse. Dennoch neigte sich der Waagebalken jetzt deutlich nach einer Seite.

Richarz, der gebannt durch das Fernrohr blickte, hatte es genau so erwartet.

Wie kann man diese rätselhafte Erscheinung erklären?

Man muss zunächst genau wissen, wie eine Balkenwaage arbeitet. Will man zum Beispiel ein Kilogramm Mehl abwägen, dann wird die Mehltüte auf die eine Schale gestellt, auf die andere legt man das geeichte Kilogramm-Stück.

Solange nicht genügend Mehl in der Tüte ist, steht der Waagebalken schräg. Das Kilogramm-Stück wird ja mit einer stärkeren Kraft von der Erde angezogen als das Mehl. Man sagt auch: Die Waage befindet sich nicht im Gleichgewicht.

Erst wenn man Mehl nachgeschüttet hat und beide Massen gleich sind, dreht sich der Balken in die Waagerechte. Damit befindet sich die Waage im Gleichgewicht, denn jetzt wirken an beiden Seiten gleich große Kräfte.

Genauso war es, als Richarz beide Messkörper auf die oberen Waagschalen stellte. Ebenso verhielt es sich, als die beiden unteren Schalen belastet waren.

Aber bei dem entscheidenden Versuch stellte sich der Waagebalken schräg! Die Kräfte mussten also ungleich sein.

Wie kam das?

Die Messkörper wurden nicht nur von der Erdmasse angezogen. Der Bleiklotz übte ebenfalls eine Gravitationskraft aus!

So wurde die obere Kugel gleichermaßen von der Erde und dem Blei nach unten gezogen. Die Bleimasse vergrößerte ihr Gewicht. Die untere Kugel indessen wog leichter: Die Bleimasse zog sie nach oben und verminderte dadurch ein wenig ihre Schwere. Deshalb wirkten verschieden große Kräfte an beiden Seiten der Waage. Das ist die Erklärung des von Richarz gelösten Rätsels.

Es gehört schon ein scharfer Verstand dazu, so einen Versuch auszutüfteln.

Richarz war froh und stolz, dass ihm dieses Experiment gelungen war. Aber die eigentliche Arbeit lag noch vor ihm. Er musste wiederholt messen und dann zahllose Berechnungen vornehmen, bis er schließlich zu den Zahlenwerten kam, die er suchte. Nach vier Jahren, erst 1896, konnte er die Ergebnisse veröffentlichen. Seine Arbeit fand in der Fachwelt die verdiente Anerkennung.

Bald darauf ging er nach Marburg, um eine Professur an der dortigen Universität anzunehmen. Sein Leben blieb eng mit der wissenschaftlichen Arbeit verbunden. Im Jahre 1920 starb er, hochverdient und geehrt, im Alter von 60 Jahren.

## 1.9 Stärker als Gorillio

"Warum sind die Körper schwer?" hatte mein Vetter Heinz nach seiner traurigen Niederlage im "Palast der Sensationen" gefragt.

Wir haben seine Frage beantwortet und verstehen nun viel besser, welche Ursachen die so alltägliche Naturkraft hat, die wir Gewicht oder Schwere nennen.

Ob Heinz sich freuen wird, wenn er mein Buch in die Hände bekommt?

Seit unserem Besuch im "Palast der Sensationen" sind viele Jahre vergangen. Schon lange buckelt sich Heinz nicht mehr mit Ziegelsteinen ab.

Er verfügt heute über weitaus größere Kräfte, als sie damals der aufgeblasene Kraftmensch Gorillio aufzubringen vermochte.

Die zuverlässigen Fäuste meines Veters Heinz dirigieren Lasten von 1000, 2000, ja 5000 Kilopond. Und das vermag er, ohne dabei vor Anstrengung die Augen zu verdrehen und ins Schwitzen zu kommen. Im Gegenteil, er thront recht bequem auf einem schaumgummigepolsterten Sitz in der schnittigen Glaskanzel eines modernen Kranes.

Unsere modernen Häuser und Werkanlagen werden nicht mehr mühselig aus Ziegelsteinen aufgeschichtet, sondern aus großen Betonplatten zusammengefügt. Bei dieser Bauweise kann man ohne Krane nicht auskommen.

Auf allen Bauplätzen sehen wir sie aufragen; schlanke, stählerne Türme, und oben in luftiger Höhe die wimpelgeschmückten weiten Ausleger.

Mir bietet das Kraftspiel dieser Krane stets einen fesselnden Anblick.

Die Halteklau packt eine mächtige Betonplatte, das Stahlseil spannt sich, und schon schwebt die tonnenschwere Last mit spielerischer Leichtigkeit in die Höhe. Der Kran schwenkt und setzt die Betonplatte sanft und präzise dort ein, wo man sie braucht. Im nächsten Augenblick schwenkt der Kran zurück und nimmt eine neue Last auf. Er kennt kein Ermüden.

Mit solchen Kranen sind wir Menschen stark geworden. Sie verleihen uns Riesenkräfte, die wir nach unserem Willen beherrschen können.

Aber diese Krane sind nicht an einem Tag und nicht in einem Jahr entstanden; sie haben eine jahrtausendealte Geschichte. Bereits in sagenhaft ferner Zeit haben die Menschen imponierende Bauten errichtet. Sie schufen Paläste, Tempel und Pyramiden; Bauwerke, die zum Teil bis heute erhalten geblieben sind. Aber unsere Vorfahren besaßen für ihre Arbeit zunächst nichts als die Kraft ihrer Muskeln.

So, wie sich Heinz mit den schweren Ziegeln schinden musste, so zogen, zerrten und wuchteten im Altertum die Sklaven mit der Kraft ihrer Körper die schwersten Felsblöcke. Aber der Mensch besitzt nicht nur Muskeln und Sehnen.

Er hat Augen, mit denen er beobachten, er hat einen Verstand, mit dem er nachdenken und begreifen kann.

Er erdachte sich schon vor etwa 4000 Jahren Maschinen, um Lasten heben zu können. Das waren zuerst sehr einfache Hilfsmittel. Heute aber sitzt er im Krankenhaus und meistert die schwersten Brocken.

Rohe Kraft ist dabei nicht zu gebrauchen, sondern viel Fingerspitzengefühl und ein sicheres Auge.

Ich will in diesem Buch erzählen, wie sich der Mensch diese Kräfte und Maschinen schuf.

## 2 Ein Pharaos lässt sein Grab bauen

### 2.1 Die Schlacht in der Wüste

Im Mai des Jahres 1798 lief aus dem Hafen von Toulon eine starke französische Kriegsflotte aus. Sie nahm Kurs auf die ägyptische Küste. Es waren über 400 Schiffe, die bei strahlendem Wetter nach Südosten über das Mittelmeer segelten. An Bord drängten sich 30000 kriegserfahrene Soldaten, die den knappen Schiffsraum mit ihren Pferden und Geschützen teilen mussten.

Auf dem Achterdeck des Flaggschiffes stand, umgeben von hohen Offizieren, ein tatkräftiger und kaltblütiger Oberbefehlshaber, der dreißigjährige General Napoleon Bonaparte. Mit befehlsgewohnter Stimme erläuterte er noch einmal seine verwegenen Kriegspläne.

Frankreich stand seit Jahren gegen England im Kriege. Es ging um die wirtschaftliche Macht in Europa. Da bisher noch keine Entscheidung gefallen war, wollte Bonaparte Ägypten erobern, um von dort aus mit einer kampferprobten Armee nach Indien zu marschieren. In jenem fernen Lande sollten dann seine Soldaten die englischen Kolonialtruppen besiegen.

Dieser abenteuerliche Plan scheiterte. Der General konnte zwar Ägypten unterwerfen, aber schon in Syrien erlitt er eine Niederlage. Indischen Boden haben seine Grenadiere niemals betreten. Trotzdem sollte sein ägyptischer Feldzug eine ungeahnte Bedeutung erhalten.

Er gab nämlich Anstoß zu überraschenden Entdeckungen. Er leitete den Beginn einer neuen Wissenschaft ein, die wir heute Ägyptologie nennen.

Auf einigen der Schiffe, die nach Ägypten steuerten, reiste eine Gruppe Gelehrter. Wie ungewöhnlich, dass Wissenschaftler einen Feldzug begleiteten! Aber sie kamen auf besonderen Wunsch des Generals mit.

Sie sollten in Ägypten nach den Spuren der alten, längst versunkenen Pharaonenreiche forschen, über die man damals wenig wusste. Eigentlich lag dem General herzlich wenig an den alten Pharaonen. Aber er war ein berechnender Politiker.

Eine blühende Wissenschaft konnte ihm sehr nützlich sein, vor allem der Wirtschaft und der Armee seines Landes. Deshalb unterstützte er die französischen Wissenschaftler, wo er es konnte. Als er den Ägyptenfeldzug vorbereitete, stellte er einen ganzen Stab von Astronomen, Chemikern, Sprachgelehrten, Geschichtsforschern und Zeichnern zusammen.

Er rüstete sie sogar mit allen notwendigen Forschungsgeräten aus.

Die Wissenschaftler sollten alle Altertümer sorgfältig untersuchen und sammeln, während die Zeichner die entdeckten Kulturdenkmäler naturgetreu abzubilden hatten.

Aber zunächst musste die große Flotte glücklich über das Mittelmeer segeln. Endlich, nach wochenlanger Reise, erblickten die Franzosen die ägyptische Küste. In der Nähe der Stadt Alexandria ließ man die Boote zu Wasser. Eilig ruderten die Truppen an Land. Die Nacht brach an, ehe man mit dem Ausbooten fertig wurde.

Schon im Morgengrauen ließ der General Alexandria angreifen. Nach wenigen Stunden marschierten seine Soldaten in die Stadt ein. Aber die Hauptmacht der Mamelucken hatte sich in die Wüste zurückgezogen. Bonaparte verfolgte sie, um sie zum Kampf zu stellen.

Es begann ein entbehrungsreicher Marsch. Bei sengender Hitze schlepten sich die langen Kolonnen durch den weglosen Wüstensand. Menschen und Tiere litten Durstqualen, denn der flüchtende Gegner hatte die wenigen Brunnen vergiftet. Besonders übel erging es den Gelehrten, denen derartige Strapazen ungewohnt waren.

Dazu kam, dass hin und wieder überraschend Mamelucken zu Pferde heranjagten und auf die Soldaten Schüsse abfeuerten. Der General sorgte sich um die im Kampf unerfahrenen Wissenschaftler. ägyptische Küste. In der Nähe der Stadt Alexandria ließ man die Boote zu Wasser. Eilig ruderten die Truppen an Land. Die Nacht brach an, ehe man mit dem Ausbooten fertig wurde.

In der Eile eines Gefechts rief er: "Esel und Gelehrte in die Mitte!" Damit wollte er die Gelehrten nicht etwa lächerlich machen, sondern sie ebenso von seinen Soldaten geschützt wissen wie die unentbehrlichen Lasttiere.



Zwei Wochen marschierten die erschöpften Kolonnen bereits, da zeigten sich fern in der endlosen Wüste merkwürdige Erhebungen. Die Soldaten strengten ihre vom grellen Sonnenlicht ermüdeten Augen an, um diese sonderbaren, spitzkantigen Gebilde besser zu erkennen.

Erst als sie näherkamen, sahen sie, dass dort große Bauwerke aufragten, wie sie die Soldaten noch niemals gesehen hatten. Einige Soldaten schätzten ihre Höhe auf 100, andere sogar auf 150 Meter. Dreieckige treppenartige Wände bildeten die Fassaden. Sie stiegen schräg an und endeten oben in einer kantigen Spitze.

Sonderbar, die Soldaten konnten nirgends Fenster oder Türen entdecken. Aus der Entfernung sahen die Bauten wie künstlich angelegte massive Berge aus. Welchem geheimnisvollen Zweck mochten sie dienen?

Die Soldaten rätselten untereinander. Das werden Tempel sein, meinten die einen. Andere hielten sie für gewaltige Kornspeicher oder für Verliese, in denen Gefangene schmachten. Manche tippten auf verborgene Schatzkammern und frohlockten bei dem

Gedanken an eine unermessliche Beute.

Am stärksten ließen sich die Gelehrten von dem Anblick dieser Stätte fesseln. Sie wurden sich schnell einig, dass sie eine bedeutende Sehenswürdigkeit der Antike entdeckt hatten. Es waren die Pyramiden von Giseh, die uralten Grabmäler der ägyptischen Könige. Die Gelehrten brannten darauf, mit ihrer Arbeit zu beginnen.

Aber da sprengten Patrouillen heran. Sie waren unweit der Pyramiden auf ein verschanztes Lager gestoßen. Dort lag die Hauptmacht des Gegners, darunter 10000 Reiter auf schnellen Pferden, bewaffnet mit dem gefürchteten Krummsäbel.

General Bonaparte wollte die Schlacht sofort beginnen. Trompetensignale schmetterten, Kommandorufe brachten Ordnung in die Truppen. Schon standen die Abteilungen angetreten. Bonaparte ritt vor die Front.

Er feuerte seine Soldaten an, den Fahnen Frankreichs keine Schande zu machen. Feierlich wies er auf die Pyramiden und rief: "Soldaten, von der Höhe dieser Pyramiden sehen vier Jahrtausende auf euch herab!"

Dann befahl er seinen Kanonieren, das Lager der Mamelucken niederzukartätschen, und hetzte seine Grenadiere in die Schlacht. Zum erstenmal in der Geschichte brandete Geschützdonner gegen die viertausendjährigen Mauern der Pyramiden.

Die Mamelucken verteidigten sich zäh, aber an der Disziplin der kriegserfahrenen Franzosen zerbrach allmählich ihr Mut. Sie wurden aufgerieben und flohen. Die Franzosen erbeuteten 40 Kanonen und bejubelten ihren Sieg.

Aber viele tausend Gefallene bedeckten das Schlachtfeld. Die beutelüsteren Soldaten stürzten sich über die Leichen der Geschlagenen und raubten die Goldsachen und Kleinodien, welche die Mamelucken bei sich getragen hatten.

## 2.2 Rätsel über Rätsel

Die Wissenschaftler, angewidert von dem ekelhaften Treiben der Soldaten, gingen an ihre Arbeit. Erst jetzt, da sie die Pyramiden aus unmittelbarer Nähe betrachteten, wurde ihnen die erhabene Größe dieser geheimnisvollen Bauten bewusst.

Verloren standen die Menschen inmitten der Wüstenöde und blickten zu den steinernen Zeugen einer versunkenen Zeit auf. Ergriffen betrachteten sie die fast mannshohen Kalksteinblöcke, aus denen die Pyramiden aufgeschichtet waren. Jeder dieser Steinquader war sorgfältig behauen und mochte mehrere tausend Kilopond wiegen. Und wie viele Hunderttausend solcher Blöcke hatte man hierhergeschleift und aufeinandergewälzt?

Bonaparte war ebenfalls gekommen, um die Pyramiden zu besichtigen. Mit scharfen Augen maß er abschätzend die Steinmassen. "Diese Steine reichen aus", erklärte er, "um ganz Frankreich mit einer drei Meter hohen Mauer einzufassen."

Die Gelehrten bezweifelten das zunächst, mussten ihm aber später recht geben. Sie stellten ihre Messgeräte auf und stürzten sich in eine fieberhafte Tätigkeit. Unermüdlich zeichneten und rechneten sie, und schließlich hatten sie die Ausmaße der Pyramiden ermittelt.

An der ältesten und zugleich gewaltigsten maßen sie eine Höhe von 146 Metern. 230

Meter betrug die Seitenlänge. Wollten sie einmal um den Bau herumgehen, mussten sie fast einen Kilometer zurücklegen. Sie errechneten die Grundfläche, auf der sich dieser mächtige Bau erhob, und erhielten 53000 Quadratmeter. Auf dieser großen Fläche könnten die Dome von Mailand und Florenz mitsamt der St. Peterskirche in Rom bequem Platz finden.

Zahllose Fragen stürmten auf die Gelehrten ein. Wie hatte man die Steine hierhergebracht?

Besaßen die Ägypter bereits vor 4000 Jahren Maschinen, mit denen sie die schweren Steinblöcke aufeinanderheben konnten?

Wie haben diese Maschinen ausgesehen?

Was aber, wenn die Ägypter keine Maschinen kannten?

Womit haben sie dann diese Leistung vollbracht? Mit ihren bloßen Händen?

Warum haben sie diese unmenschliche Arbeit auf sich genommen? Taten sie es gern, oder wurden sie von jemandem dazu gezwungen?

Fragen über Fragen. Die Wissenschaftler fanden keine Antwort. Sie mussten sich eingestehen, dass ihre Kenntnisse noch nicht ausreichten. Jetzt würde eine neue Wissenschaft nötig sein, die sich nur mit der Erforschung des alten Ägyptens befasste.

Die Armee zog auf ihrem Feldzug weiter, und die Forscher stießen auch an anderen Orten auf interessante Funde. Sie entdeckten Tempelruinen und gruben Standbilder von seltener Schönheit aus. Sie öffneten Grabgewölbe und fanden darin Waffen und kostbaren Schmuck. Und überall erblickten sie geheimnisvolle Schriftzeichen. An Tempelwänden und auf Gedächtnistafeln, an Säulen und Standbildern fanden sie sie eingraviert; eine rätselhafte, uralte Bilderschrift, die Hieroglyphen. So sehr die Gelehrten auch rätselten, keiner vermochte sie zu entziffern.



Die alte Bilderschrift der Ägypter: die Hieroglyphen. Sie waren lange Zeit unlesbar.

Die alten Schriftzeichen hätten von dem Leben der alten Ägypter erzählen können. Sie hätten von jahrtausendealter Kultur und Technik berichtet und vielleicht auch das Geheimnis der Pyramiden enthüllt.

Aber so konnten sich die Wissenschaftler nur unklar zusammenreimen, was ihre vielen Funde einst den Ägyptern bedeutet hatten. Allem, was sie entdeckten, haftete etwas

Geheimnisvolles und Rätselhaftes an.

### 2.3 Steine beginnen zu reden

Das geschah ein Jahr nach der Schlacht bei den Pyramiden:

In der Nähe des Dorfes Rosette am Nil hoben französische Soldaten Schützengräben aus. Eines Tages stieß ein Soldat mit seinem Spaten gegen eine schwarze, polierte Basaltplatte. Er grub sie frei und fand sie über und über mit Schriftzeichen bedeckt. Sofort rief man die Gelehrten herbei.

Sie entdeckten, dass der Text in drei Sprachen verfasst war: in Griechisch, in Demotisch, aber außerdem noch in der unlesbaren Hieroglyphenschrift.

Freudig erregt betrachteten die Wissenschaftler den seltenen Fund. Den griechischen Text konnten sie gut lesen. Es handelte sich um ein Huldigungsschreiben, das ägyptische Priester an einen Pharao gerichtet hatten.

Da das gleiche Schreiben auch in der Hieroglyphenschrift abgefasst war, konnte der Stein helfen, diese unbekanntenen Zeichen zu entziffern. Dennoch - wer diese Aufgabe lösen wollte, musste geradezu geniale Sprachkenntnisse besitzen. Einige Forscher wagten sich an die Arbeit, kamen aber nicht zum Ziel.

Aber dann begeisterte sich der französische Sprachwissenschaftler Jean Francois Champollion an dieser komplizierten Aufgabe. Er war ein ausgesprochenes Sprachgenie. Schon mit 13 Jahren versetzte er seine Lehrer in helles Erstaunen, denn er sprach fließend Latein, Griechisch und Hebräisch und beherrschte darüber hinaus Arabisch, Koptisch, Chinesisch, Altindisch, Syrisch und Chaldäisch.

Für Champollion begann eine zähe und verbissene Kleinarbeit. Jahre vergingen.

Inzwischen hatte Napoleon Europa unterworfen, aber in Russland eine blutige Niederlage erlitten. Die europäischen Völker vereinigten sich gegen den machthungrigen Kaiser und besiegten seine Armeen. Napoleon wurde auf der Insel St. Helena gefangengesetzt. Er lebte dort bereits sieben Jahre in der Verbannung, als Champollion endlich, im Jahre 1822, die ersten zehn Hieroglyphen entziffern konnte.

Nun begannen die Steine zu reden. Sie erzählten von den längst versunkenen Reichen der Ägypter. Sie berichteten, wie die Menschen damals gearbeitet haben, welche Götter sie anbeten mussten und wie ihre Herrscher, die mächtigen Pharaonen, gelebt haben. Allmählich drang auch Licht in das Geheimnis der Pyramiden. Aber oft stellten sich die Forscher Fragen, die auch die vielen Hieroglypheninschriften nicht beantworten konnten. Wie konnten sie sich helfen?

Ägyptische Künstler hatten unzählige Wandmalereien und Reliefs geschaffen. Die Forscher betrachteten diese Bilder wie ein interessantes Album. Sie sahen, welche Lebensgewohnheiten die alten Ägypter hatten und welche Kleidung sie trugen.

Außer den Königen fanden sie auch Krieger, Bauern, Handwerker und Sklaven dargestellt. Die Bilder verrieten ihnen, mit welchen Waffen die Ägypter gekämpft und welche Werkzeuge sie benutzt haben. Manchmal wollten die Forscher ihren eigenen Augen

nicht trauen, so überrascht waren sie. Sie sahen Zimmerleute, Schiffsbauer, Steinmetzen, Goldschmiede, Ziegelmacher, Maurer, Töpfer und Weber bei ihrer Arbeit. Mit welchem Geschick diese Handwerker ihre einfachen Werkzeuge benutzten!

Die Forscher erkannten manche dieser Geräte auf den ersten Blick wieder: Handsägen, Äxte, Stechbeitel in einer Tischlerei, Hämmer und Meißel bei den Steinmetzen. Aber kein Bild verriet den Forschern, wie die Ägypter die Pyramiden gebaut hatten.

Die Ägypter mussten jedoch Kenntnisse auf vielen Gebieten besessen haben, auch auf dem Gebiet der Naturwissenschaften: der Chemie, Physik und Mathematik. Sonst hätten sie die Tempel und Pyramiden nicht bauen können.

Mit welcher Genauigkeit hatten die Ägypter die Bausteine aneinandergesetzt! Wie gleichmäßig stiegen die vier Seitenwände einer Pyramide an! Ihre Neigungswinkel waren genau berechnet und mit besonderen Geräten vermessen worden. Leider wissen wir nicht, wie diese Geräte aussahen.

## 2.4 Ein wichtiges Dokument

Es hatte schon einmal eine Art wissenschaftliche Expedition in das alte Ägypten gegeben. Das liegt aber schon eine lange Zeit zurück, etwa 2400 Jahre.

Damals, um das Jahr 450 vor unserer Zeitrechnung, reiste ein griechischer Gelehrter durch Ägypten. Er hieß Herodot. Teils zu Schiff, dann aber wieder auf dem Rücken eines Esels oder Kamels besuchte er die damals bekannten Länder rings um das Mittelmeer. Er lernte Nordafrika, Kleinasien und sogar den Kaukasus kennen. Überall traf er mit Menschen zusammen und ließ sich von ihren Gebräuchen berichten oder aus der Geschichte ihres Landes erzählen.

Das alles notierte er gewissenhaft.

In Ägypten stieß Herodot auf die Pyramiden. Er besichtigte sie eingehend und zerbrach sich den Kopf, mit welcher rätselhaften Technik man sie erbaut hatte. Einiges darüber konnten ihm die Ägypter berichten.

Nach 20 Jahren kehrte Herodot wieder in seine Heimat zurück. Dort schrieb er alles nieder, was er auf seiner langen Reise erlebt und beobachtet hatte, darunter auch einiges über den Pyramidenbau. So schuf Herodot ein sehr umfangreiches Werk, wohl das erste dieser Art. Man nennt ihn deshalb auch den "Vater der Geschichtsschreibung".

Seine Schrift ist bis heute ein einzigartiges Dokument der alten Geschichte geblieben. Herodot hat uns vieles überliefert, was sonst längst in Vergessenheit geraten wäre. Auch als die Ägyptologen im 19. Jahrhundert die Pyramiden erforschen wollten, halfen ihnen dabei Herodots Berichte.

Während des 19. und 20. Jahrhunderts zogen immer wieder Expeditionen durch das Nil-land. Es gab Forscher, die sich zeit ihres Lebens nur mit den Pyramiden beschäftigten. Sie füllten ganze Bücher mit ihren Beobachtungen und Vermutungen.

So, wie ein Künstler ein Mosaik aus vielen einzelnen Steinchen zusammensetzt, so trugen die Ägyptologen Körnchen für Körnchen ihres Wissens zusammen und fügten

es mit Scharfsinn zu einem einheitlichen Bild. Diesen Forschern ist es zu danken, dass man heute über die Pharaonenreiche ziemlich gut Bescheid weiß: Auch die Pyramiden mussten ihr Geheimnis preisgeben.

Zunächst - die drei großen Pyramiden von Giseh sind nicht gleichzeitig erbaut worden. Es sind auch nicht die einzigen. Man hat bisher 80 Pyramiden gezählt. Sie liegen alle am Westufer des Nils. Viele sind verfallen und nur von einem geschulten Forscher zu erkennen.

Aber die größte Pyramide steht in der Gisehgruppe. Sie hat Forscher und Touristen immer wieder angezogen. Es ist interessant, wie dieses monumentale Werk errichtet wurde.

### 2.5 Der Gott des Staates

Um das Jahr 2600 vor unserer Zeitrechnung bestieg in Ägypten ein herrischer Pharao den Thron. Sein Name war Cheops. Bald darauf ließ er die fähigsten Architekten in seinen Königspalast kommen. Er befahl ihnen, die mächtigste Pyramide zu bauen, die es je gegeben habe.

Die Baumeister entwarfen einen 146 Meter hohen Steinkoloss und legten ihre Zeichnungen dem Pharao vor. Der Herrscher nickte zufrieden: Das würde ein Bau für die Ewigkeit sein.

Die Zeichnungen zeigten ihm ein Bauwerk, vollständig von mächtigen Steinblöcken ausgefüllt. Nur wenige geheime Gänge führten in die Mitte des künstlichen Berges. Dort endeten sie wie Sackgassen oder mündeten in verborgene Kammern. Der geheime Zugang lag hinter den glatten Pyramidenwänden verborgen. Kein Sterblicher würde ihn finden.

Der Pharao frohlockte. Er würde nach seinem Tode nirgendwo sicherer begraben sein als in dieser Pyramidenkammer.

Der Herrscher dachte daran, dass er eines Tages sterben müsste wie jeder seiner Untertanen. Aber, so fragte er sich, war er ein Mensch wie jeder andere?

Er, der Pharao, wollte im Jenseits weiterleben. Dann würde er in den Kreis der ewigen Götter zurückkehren, aus dem er gekommen war.

Die Götter hatten ihm seine Königswürde verliehen. Er war ihr unmittelbarer Vertreter, der Gott des Staates. Seine Untertanen hatten ihn anzubeten und ihm zu gehorchen, sonst kam sein göttlicher Zorn über sie.

Die Ägypter glaubten tatsächlich, der Pharao sei ein Gott. Aber auch sie wollten ewig leben. Das konnte nach ihrem Glauben jedoch nur geschehen, wenn sie zwei Bedingungen erfüllten.

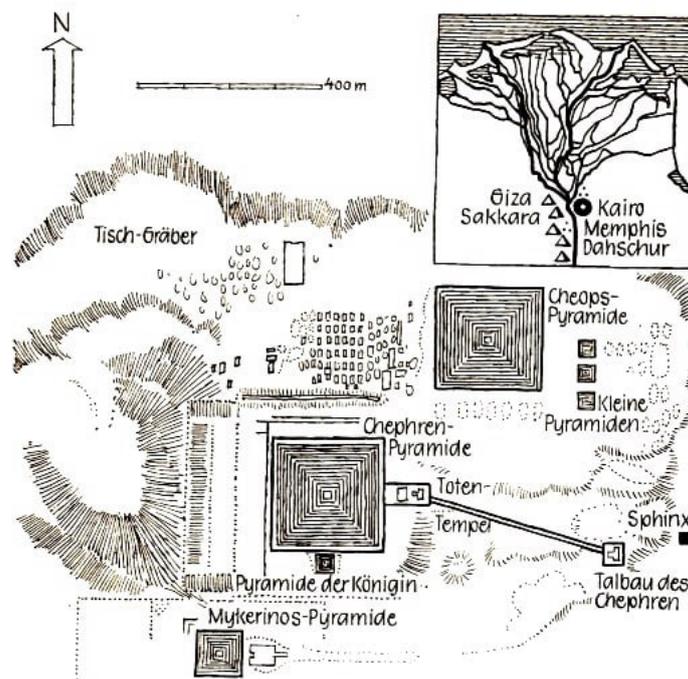
Zunächst mussten sie dafür sorgen, dass der tote Körper nicht verweste. Die Priester wickelten den Körper in harzgetränkte Binden ein. So entstand eine Mumie. Damit Feuer, Überschwemmung oder andere Naturkatastrophen sie nicht zerstörten, legte man sie in einen Steinsarg und verschloss diesen in einem sicheren Grabgewölbe.

Außerdem mussten die Angehörigen ihrem Toten alles mit ins Grab geben, was er zum "ewigen Leben" brauchte. Er erhielt Nahrung, Kleidung, Schmuck, Waffen und Geschirr. Den Pharaonen stellte man sogar Wagen und Schiffe ins Grab. Alles, was zu so einem prunkvollen Begräbnis gehörte, musste teuer bezahlt werden. Nur wohlhabende Ägypter konnten sich das leisten, also die Pharaonenfamilie, hohe Beamte, Feldherren und Priester.

Die Handwerker und Bauern und erst recht die Sklaven mussten ihre Toten im Wüstensand verscharren und konnten ihnen keine Schätze mitgeben. Die Priester redeten ihnen ein, sie müssten stets dem Pharao gehorsam dienen und ihre Steuern pünktlich bezahlen. Dann könnten auch sie ins ewige Jenseits gelangen.

Aber auch die reichen Ägypter hatten ihre Sorgen. Ihre Prunkgräber übten auf Räuberbanden eine magnetische Anziehungskraft aus. Diebe brachen die Grabgewölbe auf und stahlen die Schätze. Sie schreckten auch nicht davor zurück, die Mumien zu zerstören, um sich den Schmuck der Toten anzueignen. Wie aber sollten die geschändeten und beraubten Toten im "Jenseits" leben können?

Vor solchem Schicksal wollte sich der Pharao bewahren. Seine kostbare Person durfte nicht angetastet werden, sein "ewiges Leben" nicht gefährdet sein.



Lageplan der großen Pyramiden von Giseh mit den übrigen Grabmälern und dem Totentempel

Deshalb brauchte er die Pyramide, das Zeichen seiner Göttlichkeit, seiner unbeschränkten Macht über das Volk. Sie war sein wichtigstes Bauvorhaben, wichtiger als der Königspalast. Aber Cheops allein konnte das Grabmal nicht errichten, dazu brauchte er Baumeister. Damit sie seine Wünsche erfüllten, versprach er ihnen hohe Ehrungen. Sie durften sich sogar auf seine Kosten prunkvolle Gräber in der Nähe seiner Königspyramide bauen lassen.

Cheops hatte die Pläne seiner Architekten geprüft. Er war zufrieden und bestimmte den Bauplatz. Er wählte ein Felsplateau, das wenige Kilometer vom linken Nilufer entfernt lag, und zwar zwischen der heiligen Stadt Heliopolis und Memphis, der Hauptstadt seines Reiches.

Dann drängte er, sofort mit dem Bau zu beginnen. Er hatte berechnete Eile. Seine Pyramide sollte ja alle anderen an Größe und Festigkeit übertreffen. Deshalb musste er mit einer langen Bauzeit rechnen, vielleicht 20 oder 25 Jahre.

Wenn er inzwischen stürbe? Würde sein Sohn Chefren die Pyramide vollenden lassen? Der musste doch sofort an sein eigenes Grabmal danken!

Cheops sah nur einen Ausweg! Seine Pyramide musste in kürzester Frist erbaut werden. Er befahl seinen Beamten, alle entbehrlichen Sklaven, Bauern und Handwerker zur Zwangsarbeit zu treiben und aus jedem einzelnen rücksichtslos die größte Arbeitsleistung herauszupeitschen.

## 2.6 Die Baumeister haben Sorgen

Die Baumeister standen vor schwierigen Aufgaben; sie mussten den kühnen Bauplan verwirklichen. Der Pharao fragte nicht danach, ob die damalige Technik überhaupt dazu ausreichte. Darüber sollten sich gefälligst die Architekten ihre klugen Köpfe zerbrechen.

Die Architekten mussten zunächst wissen, wieviel Baumaterial sie brauchten. Deshalb errechneten sie den Rauminhalt des riesigen Pyramidenkörpers und erhielten ein Volumen von etwa 2600000 Kubikmetern.

Ebenso viel Gestein mussten sie zum Bauplatz bringen lassen. Die Steinbrüche, die diese unübersehbaren Mengen von Baustoff hergeben sollten, lagen teils in der Nähe des Bauplatzes, teils auf der anderen Nilseite.

Also schickten die Baumeister Tausende Steinmetze dorthin, die große Brocken aus dem Gestein zu schlagen hatten. Andere mussten das herausgebrochene Gestein zu mannshohen, quaderförmigen Blöcken behauen.

Diese Quader waren verschieden groß. Im Durchschnitt betrug ihre Masse 2500 Kilogramm; es waren aber auch Riesenblöcke von 15 Tonnen vonnöten. Die gesamte Steinmasse, die die Architekten für den Pyramidenbau brauchten, betrug 6,5 Millionen Tonnen.

Was wäre zum Beispiel, wenn wir diese 6,5 Millionen Tonnen Steinmassen auf Güterwagen laden wollten? Würde ein sehr langer Güterzug ausreichen, dessen Lokomotive in Berlin stünde, während sich der letzte Wagen in Moskau befände?

Dieser Zug wäre 1600 Kilometer lang, aber noch viel zu kurz. Er würde nur die Hälfte der Steinblöcke fassen. Wir brauchten zwei solcher endlosen Züge, damit wir die 6,5 Millionen Tonnen verladen könnten.

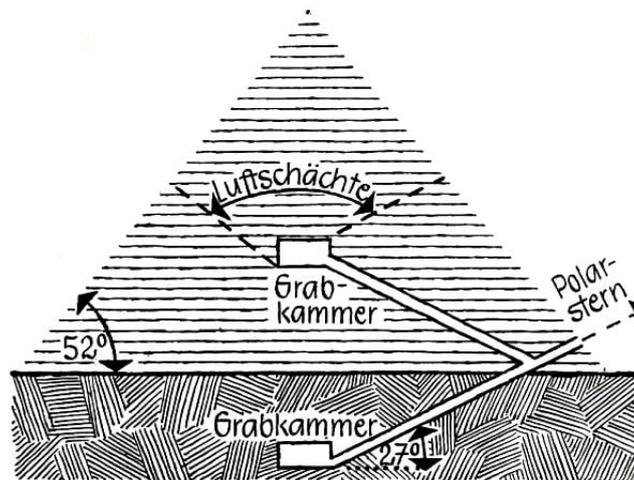
Die Baumeister hatten also Sorgen. Wie sollten sie diese vielen Felsblöcke von den Steinbrüchen zum Bauplatz transportieren?

Und waren die schweren Blöcke erst an Ort und Stelle, dann mussten sie beim Bau

gehoben werden, die letzten sogar auf eine Höhe von 146 Metern!

Lassen wir unserer Phantasie freien Lauf! Stellen wir uns vor, die alten Ägypter hätten unsere moderne Technik einsetzen können! Wie hätte es dann auf dem Bauplatz ausgesehen?

In den Steinbrüchen arbeiten viele Krane. Sie bewegen sich auf klirrenden Raupenkettensystemen zwischen den fertigen Blöcken. Die Luft ist erfüllt vom Brummen der Dieselmotoren. Die Krane setzen die Blöcke auf große Lastwagen, die dann zum Bauplatz fahren. Wieder packen die stählernen Greifer der Krane zu, heben die Steinblöcke mühelos hoch und fügen sie zusammen. So wächst der monumentale Bau Stufe um Stufe empor.



Schema der Cheopspyramide. Es sind nur die wichtigsten Gänge und Kammern eingezeichnet

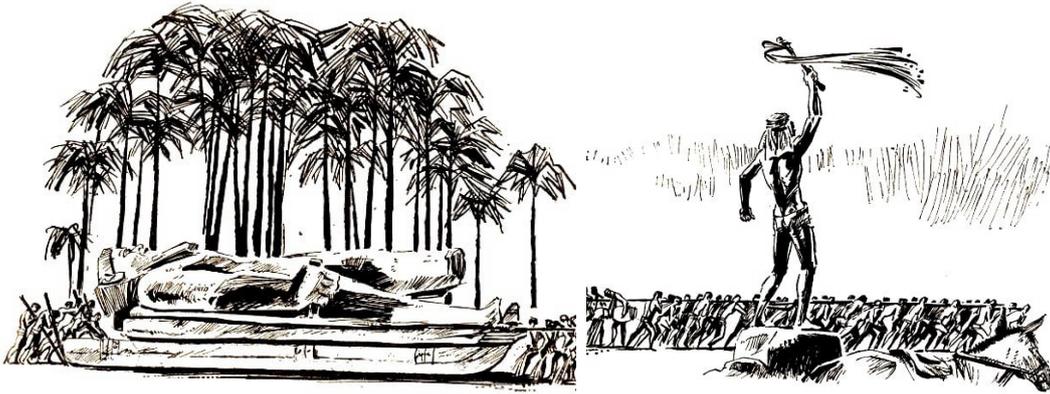
Nur wenige Menschen arbeiten auf dem Bauplatz: Einige Arbeiter dirigieren die Krane. Techniker überwachen aufmerksam die Maschinen, Ingenieure prüfen und messen das wachsende Bauwerk, und in den Kettenfahrzeugen warten die Fahrer darauf, dass sie mit ihren entladenen Wagen davonbrausen können.

Das sieht so aus, als sei diese Arbeit ein Kinderspiel. Aber die Arbeiter leiden unter der sengenden Hitze, denn im Sommer steigt die Temperatur auf über 40 Grad Celsius. Obwohl die modernste Technik eingesetzt wird, dauert der Pyramidenbau volle fünf Jahre.

Doch kehren wir in die Wirklichkeit zurück! Wir wissen, dass es zu jener Zeit keine Kraftfahrzeuge und Krane gab. Dampfmaschinen und Verbrennungsmotoren, die heute gewaltige Kräfte liefern, wurden erst viel, viel später, in den letzten 200 Jahren, erfunden. Wie aber ist es den alten Baumeistern gelungen, ohne diese Maschinenkräfte eine Pyramide für den Pharao zu errichten?

## 2.7 Der Transport

Den Baumeistern stand nur eine Kraft zur Verfügung, das war die Muskelkraft der Menschen. Alle Arbeiten mussten mit dieser Kraft bewältigt werden.



Wollte man schwere Lasten befördern, konnte man auch Zug- oder Lasttiere verwenden. Aber die menschliche Kraft war ja billiger. Die Kriegszüge des Pharaos hatten unzählige Gefangene eingebracht. Man opferte sie nicht mehr den Göttern, sondern hielt sie wie Haustiere. Sie kosteten nichts als das Essen, das man ihnen notgedrungen geben musste. Hinzu kam, dass sich Sklaven geschickter und verständiger anstellten als Tiere!

Ein einzelner Mensch konnte nur schwache Kräfte aufbringen. Die Baumeister brauchten aber starke Kräfte. Deshalb spannten sie viele tausend Sklaven in ihre Fronarbeit ein. Herodot hat berichtet, dass an der Pyramide stets 100000 Arbeiter schufteten.

Allein für den Transport der Steinblöcke wurden sehr viele Menschen eingesetzt. Wenn wir heute von Transport sprechen, dann denken wir an Eisenbahnen, Kraftfahrzeuge, Schiffe und allenfalls noch an Pferdewagen. Aber welche Transportmittel besaßen die Ägypter?

Die Forscher konnten diese Frage nicht sofort beantworten. Es gab einige, die sich zu den unsinnigsten Behauptungen verstiegen, wie zum Beispiel der Engländer Kingsland. Seine Auffassung hat keinerlei wissenschaftlichen Wert, aber sie erheitert den Leser. In seinem Buch "The great pyramid in fact and in theory" kommt er uns mit spiritistischem Zauber. Er schreibt:

"Als der König die Pyramide baute, wurden die Steine von weit hergebracht. Man legte sie auf mit magischen Zeichen beschriebene Papierstreifen. Darauf erhoben sie sich in die Luft und flogen immer so weit, wie ein Pfeil fliegt. Schließlich kamen sie an dem Ort an, wo man die Pyramide baute."

Aber wie haben die Ägypter tatsächlich ihre Lasten befördert? Besaßen sie Wagen? Zu jener Zeit haben sie das Rad noch nicht gekannt. Jedenfalls sind auf ihren Darstellungen keine Räder oder Wagen zu finden. Dafür zeigen uns ihre Malereien andere Transportmittel.

Leichte Lasten wurden getragen. Man legte sie entweder auf Bahren, die den heutigen Krankentragen ähneln, oder hängte sie an einen Tragebalken, den sich ein Sklave auf die Schultern lud. Für schwere Gegenstände, wie steinerne Standbilder oder Felsblöcke, benutzte man sogenannte Schleifen. Sie sahen großen Schlitten ähnlich und bestanden aus je zwei hölzernen Kufen, die durch Querhölzer fest verbunden waren. Die Last wurde mühevoll auf diese Schleife gehoben. Dazu benutzte man wahrscheinlich

Hebelstangen. Dann zogen viele Sklaven die beladene Schleife an mehreren Tauen über den Erdboden. Die Schleife kam nur langsam vorwärts. Damit sie sich überhaupt von der Stelle bewegen ließ, mussten die Sklaven ruckweise an den Tauen zerren.

Ein Antreiber gab dazu durch Händeklatschen oder Rufen den Takt an. Wenn die menschlichen Zugtiere zu ermüden drohten, wurden sie mit Peitschenschlägen vorwärtsgetrieben.

Auf diese Weise beförderten 2000 ägyptische Sklaven sogar einen Stein von 5000 Tonnen. Er wurde für einen Tempelbau gebraucht, und der Transport dauerte volle drei Jahre.

## 2.8 Eine wichtige Entdeckung

Warum war der Transport auf den Schleifen so mühevoll? Konnte man sich diese Arbeit nicht erleichtern?

Die Ägypter hatten folgende Erfahrung gemacht: Ihre Schleifen ließen sich etwas leichter fortziehen, wenn ein glatter Untergrund benutzt wurde, der außerdem noch mit Wasser begossen worden war. Deshalb wurde ein Schleifentransport stets von Sklaven begleitet, die große gefüllte Wasserkrüge mitschleppten.

Was die Ägypter hier herausgefunden hatten, war eine wichtige physikalische Entdeckung; wohl eine der ersten, die die Menschheit gemacht hat. Wir wollen sie näher untersuchen!

Wir beschweren einen Schuhkarton mit Sand oder Büchern und setzen ihn auf den Fußboden. Dann geben wir ihm einen Stoß. Der Karton gleitet eine kurze Strecke und bleibt wieder stehen.

Warum wird seine Bewegung gebremst? Etwa, weil er schwer ist? Das kann nicht stimmen! Seine Schwere, sein Gewicht also, wirkt senkrecht nach unten und wird vom Fußboden aufgenommen.

Es muss eine andere Kraft vorhanden sein, eine Bremskraft. Sie muss genau entgegengesetzt zur Stoßrichtung wirken. Nur so kann sie die Fortbewegung des Kartons hemmen. Diese Kraft nennen wir Reibung. Sie kommt auf ganz natürliche Weise zustande.

Jeder Körper zeigt an der Oberfläche Unebenheiten. An manchen Körpern, dem Schuhkarton etwa, einem Ziegelstein oder einer groben Holzplatte, können wir die rauhe Oberfläche mit unseren Fingerspitzen fühlen. Aber auch polierte Gegenstände sind nie völlig glatt. Wir würden staunen, wie eine blanke Metallfläche unter einem Elektronenmikroskop aussieht. Sie gleicht einem wild zerklüfteten Gebirge.

Stellen wir den Schuhkarton auf den Fußboden, dann greifen diese vielen kleinen Unebenheiten ineinander; sie verzahnen sich. Wollen wir den Karton dann über den Boden schieben, so müssen wir ihn über diese winzigen Gebirge hinwegheben. Dabei werden von den gleitenden Flächen kleinste Teilchen losgerissen. Das eine wie das andere kostet Kraft.

Die Gleitreibung kann verschieden groß sein. Es kommt ganz darauf an, ob die Oberflä-

chen glatt oder rauh beschaffen sind und welche Werkstoffe aufeinander reiben. So ist die Reibung von Holz auf Holz unter Umständen viermal größer als die von Stahl auf Stahl. Außerdem nimmt die Reibung zu, je stärker wir die Körper aufeinanderpressen.

Das ist der Grund, weshalb es den Ägyptern so schwerfiel, die Felsblöcke fortzuziehen. Das große Gewicht drückte die Holzschleife fest gegen den Erdboden. Dadurch konnten sich die rauhen Gleitflächen sehr stark verzahnen.

Was ließe sich gegen diese starke Reibung tun?

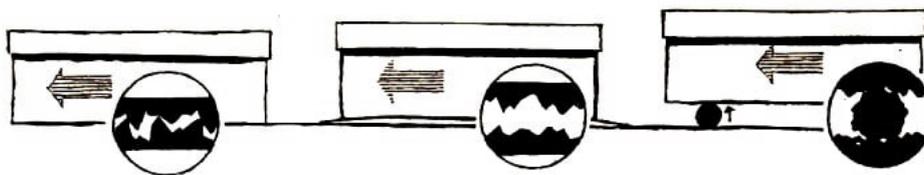
Man müsste eine Art Polster zwischen die Reibungsflächen bringen, damit sie sich möglichst wenig berühren. Wir erreichen das, indem wir sie mit Öl oder Fett schmieren. Diese Schmiermittel füllen die feinen Unebenheiten aus. Die Reibflächen berühren sich nicht mehr, sondern gleiten auf einer dünnen Schmierschicht. Infolgedessen ist die Reibung nur noch schwach. Wir brauchen weniger Kraft aufzuwenden. Außerdem nutzen sich die Gleitflächen viel weniger ab. Das ist für die Lebensdauer unserer Maschinen sehr wichtig.

Die Ägypter kannten unsere heutigen Schmiermittel nicht. Sie benutzten statt dessen bei ihren Transportschleifen einfach Wasser. Natürlich erfüllte es diesen Zweck nur unvollkommen, aber immerhin half es etwas.

In späterer Zeit, Jahrhunderte nach dem Pyramidenbau, erleichterten die Ägypter den Schleifentransport wesentlich. Sie legten steinerne oder metallene Walzen unter die Schleifen. Damit ließen sich die Lasten viel leichter fortziehen, denn sie rollten über die Walzen hinweg. Allerdings musste man die Walzen immer aufs neue unter die Schleife legen.

Aber diese Walzen bildeten bereits eine Vorstufe des Rades. Die Gleitreibung war beseitigt. Dafür trat nur eine Rollreibung auf, die jedoch viel geringer war.

Um das nachzuprüfen, legen wir unter den Schuhkarton zwei oder drei runde Schreibstifte. Wir werden überrascht sein, wie leicht sich der Karton nun bewegen lässt.



v.r.n.l.: Reibung ohne Schmiermittel, mit einer Schmierschicht zwischen den Reibungsflächen, Rollreibung

Woran das liegt, wollen wir an der obenstehenden Abbildung erklären. Auch hier sehen wir Unebenheiten. Sie befinden sich an den Körpern wie auch an den Walzen. Aber jetzt schleifen sie nicht mehr aufeinander, wenn der Karton bewegt wird, sondern rollen gegeneinander ab. Der Karton wird nicht mehr über die Riffe und Zacken gehoben. Es werden auch nur wenige Teilchen von den Körpern losgerissen.

Infolgedessen genügt hier eine kleinere Kraft, wenn man diese Reibung überwinden will.

Für eine Rollbewegung dürften die Oberflächen gar nicht völlig glatt sein. Hier sind die Unebenheiten geradezu notwendig, sonst fänden die Walzen weder an dem Karton

noch auf dem Boden einen Halt. Sie würden sich drehen, ohne vorwärts zu kommen. Ähnliches kann man bei einem Auto beobachten, dessen Räder im Schlamm oder im hohen Schnee stecken



Schnitt durch eine Kraftfahrzeug-Bremstrommel

Die Reibung hat also nicht nur Nachteile. Ohne Reibung könnten keine Autos und keine Eisenbahnen fahren. Wir würden beim Gehen immerzu ausrutschen, viel häufiger, als wenn wir über eine Eisfläche liefen. Alle Gegenstände, die wir greifen wollten, würden uns aus der Hand glitschen wie ein Stück nasse Seife. Kein Nagel würde in der Wand steckenbleiben und keine Schraubmutter ließe sich festziehen.

Untersuchen wir einmal die Bremsen an unserem Fahrrad oder an einem Pferdewagen! Jeder Bremsvorgang beruht auf Gleitreibung. Ohne sie würden die Bremsen versagen, und weder ein Radfahrer noch ein Lokomotivführer könnte sein Fahrzeug anhalten.

Das alles sind für uns heute selbstverständliche Dinge, aber den alten Ägyptern waren sie noch nicht bekannt. Was sie über die Reibung wussten, waren Erfahrungen, die sie bei der Arbeit gewonnen hatten. Vielen wissenschaftlichen Erkenntnissen ist man durch solche Arbeitserfahrungen auf die Spur gekommen.

Die Baumeister der Cheopspyramide mussten also die primitiven Transportschleifen für ihre Steinblöcke benutzen. Sie ließen deshalb mehrere Hundert derartige Schleifen zimmern und bestimmten eine ganze Heerschar von Transportsklaven. Die Blöcke wurden mühselig vom Steinbruch zum Bauplatz gebracht. Auf diesem Wege trat den Sklaven aber ein zunächst unüberwindliches Hindernis entgegen.

## 2.9 Die Steinrampe

Der Platz, auf dem die Cheopspyramide errichtet werden sollte, lag auf einer Hochfläche. Dort hinauf sollten die Transportsklaven die Schleifen mit den Lasten befördern. Wenn sie aber diese Hochfläche erreichen wollten, hatten sie einen Steilhang zu überwinden. Hier mussten sie mit ihren schweren Schleifen hoffnungslos im lockeren Wüstensand steckenbleiben. Dagegen waren selbst die Antreiber mit ihren Peitschen machtlos.

Das wussten die Baumeister. Deshalb ließen sie aus Sand und Geröll eine gewaltige Rampe aufschütten. Sie stieg allmählich an, so dass eine große schiefe Ebene entstand. Mit Hilfe dieser Rampe wurde der Steilhang überwunden. Sie war mit glattpolierten Steinen belegt, damit sich die Schleifen leichter emporziehen ließen.

Diese Rampe war nur eine Vorbereitung auf den Pyramidenbau, aber es dauerte lange

Zeit, bis sie fertig war. Herodot berichtet, dass die Sklaven zehn Jahre lang daran gebaut haben. Heute ist die Rampe verschwunden, aber Herodot konnte sie noch besichtigen. Er erzählt, dass sie verziert war, und beschreibt ihre Ausmaße. Lesen wir, was er über ihren Bau berichtet:

"Cheops stellte Sklaven an, um aus dem Steinbruch im Arabischen Gebirge Steine zu ziehen bis an den Nil.<sup>3</sup> Wenn die Steine auf Flößen über den Fluss gesetzt worden waren, so stellte er andere Sklaven an, die sie von da bis an das Libysche Gebirge ziehen mussten. Und es arbeiteten zehnmal zehntausend Mann.

Es dauerte, da das Volk also bedrückt war, zehn Jahre, dass sie den Weg bauten, über den sie die Steine zogen. Es war kein geringeres Stück Arbeit, als das der Pyramide selbst, denn seine Länge beträgt fünf Stadien<sup>4</sup>, seine Breite zehn Klafter<sup>5</sup> und seine Höhe, da wo er am höchsten ist, acht Klafter. Und er ist von geglättetem Stein, und Bilder sind darin gegraben."

Diese mächtige Steinrampe erfüllte gleichzeitig zwei Aufgaben. Einmal ließen sich die Steine, wie wir bereits wissen, leichter vorwärtsziehen.

Aber je weiter die Sklaven auf der schiefen Ebene vorankamen, desto höher gelangten sie auch. Das war ein großer Vorteil. In jener Zeit waren ja Hebemaschinen so gut wie unbekannt. Nur die Muskelkraft konnte zum Lastenheben eingesetzt werden.

Deshalb war eine schiefe Ebene meist das einzige Mittel, mit dem die Ägypter einen schweren Gegenstand auf die gewünschte Höhe transportieren konnten.

Auch wir benutzen noch diese uralte Vorrichtung, obwohl wir moderne Krane und Aufzüge haben. Eine schiefe Ebene ist manchmal vorteilhafter.

Jede ansteigende Gebirgsstraße, jede Bergbahn ist ja eine schiefe Ebene, ebenso wie jede Treppe. Uns allen sind die schräg aufgestellten Transportbänder bekannt, die wir auf den Bauplätzen und in der Landwirtschaft finden. Sie werden von Motoren angetrieben und befördern Sand oder Steine, Heu oder Stroh an einen höher gelegenen Ort.

Diese schiefen Ebenen sind technisch schon recht kompliziert. Wer sie sieht, will zunächst nicht glauben, dass jene große Steinrampe der Ägypter ihr Urahne war.

Obwohl sich an dieser alten Rampe gar nichts Maschinelles entdecken lässt, nennen wir sie bereits eine einfache Maschine. Sie vollbringt nämlich etwas sehr Wichtiges: Sie verändert Kräfte, oder besser, sie spart Kraft. Nehmen wir an, die Sklaven hätten diese Rampe nicht gebaut!

Dann hätten sie die ungefügigen Steinblöcke am Fuße des Steilhanges senkrecht heben müssen. Sie hätten dabei mit ihren Muskeln eine Kraft aufbringen müssen, die dem Gewicht der Steine gleichkäme. Auf der ansteigenden Rampe dagegen konnten sie die Lasten, wenn auch unter großer Anstrengung, bewältigen, ohne sie heben zu müssen.

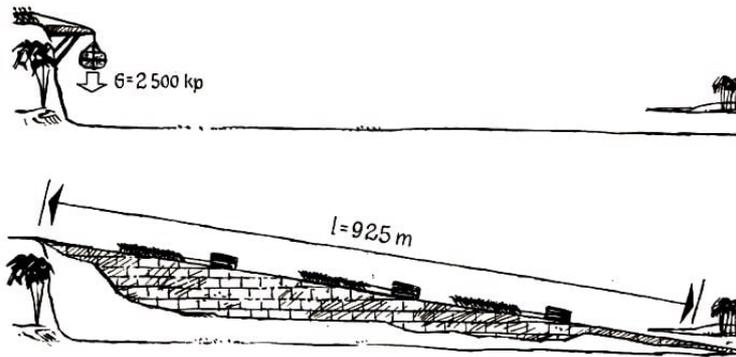
---

<sup>3</sup>Von den Steinbrüchen jenseits des Nils wurden nur die Kalksteinblöcke, die zur äußeren und inneren Verkleidung der Pyramide dienten, herbeigeschafft

<sup>4</sup>1 Stadion = 185 Meter

<sup>5</sup>1 Klafter = etwa 1,9 Meter

## 2.9 Die Steinrampe

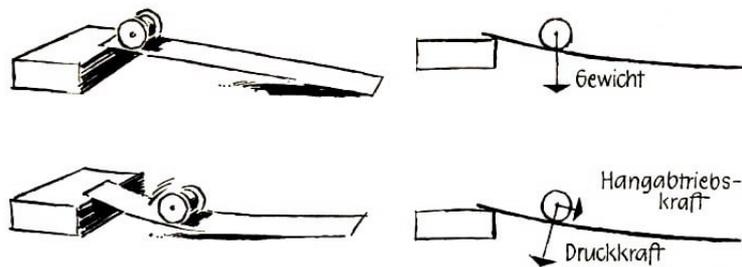


Oben: Ohne Hilfe der schiefen Ebene hätte man die Steinblöcke senkrecht heben müssen

Unten: Die schiefe Ebene erleichterte die Arbeit

Wie kommt es, dass die schiefe Ebene Kraft spart? Die Last verändert sich doch nicht! Ihr Gewicht bleibt nach wie vor dasselbe!

Wir wollen diese Frage untersuchen. Dazu benötigen wir eine Postkarte, eine Streichholzschachtel und eine Garnrolle. Von der Postkarte schneiden wir einen etwa 15 Zentimeter langen und 5 Zentimeter breiten Streifen ab. Das eine Ende dieses Streifens legen wir auf die Streichholzschachtel. So entsteht eine flach ansteigende schiefe Ebene. Dann setzen wir die Rolle auf die schiefe Ebene und beobachten aufmerksam, was sich ereignen wird.



Die Pfeile zeigen uns die Kräfte, welche an der schiefen Ebene auftreten. Das Gewicht der Garnrolle wird in zwei verschieden wirkende Kräfte zerlegt: in eine Druckkraft und eine Hangabtriebskraft

Wir erkennen zweierlei. Wie zu erwarten ist, rollt der Körper an der schiefen Ebene ab. Außerdem aber sehen wir, dass die schiefe Ebene durchgebogen wird.

Kein Körper kann sich von selbst bewegen oder verbiegen. Wenn so etwas geschieht, dann sind auch Kräfte vorhanden. In diesem Falle müssen zwei verschiedene Kräfte wirken: eine Kraft, die die Garnrolle bewegt, und eine zweite, die die Pappe verformt.

Aber woher kommen diese Kräfte? Die Garnrolle hat doch keinen Motor, der sie rollen lässt!

Eine Art "Motor" ist aber trotzdem vorhanden, nämlich ihr eigenes Gewicht. Es wirkt hier als Antriebskraft für die Rolle. Gleichzeitig verbiegt es die Pappe.

Wie ist das möglich? könnte man fragen. Jedes Gewicht wirkt doch senkrecht nach unten. Wie kann es dann die Rolle zur Seite bewegen?

Darin liegt gerade die besondere Aufgabe einer schiefen Ebene. Sie kann eine Kraft

umformen. Genauer gesagt: Sie zerlegt das Gewicht der Rolle in zwei verschiedene Kräfte. Die eine drückt gegen die schiefe Ebene.

Deshalb wird die Pappe verbogen. Die zweite Kraft bewegt die Garnrolle. Sie heißt Hangabtriebskraft, weil sie einen Körper den Hang hinuntertreibt, und ist stets kleiner als das Gewicht des Körpers.

Nehmen wir an, jemand ist mit dem Fahrrad auf der Landstraße unterwegs. Stundenlang musste er auf ebener Strecke fahren. Das ermüdet.

Doch dann geht die Fahrt bergab. Das macht Spaß, weil man nicht zu treten braucht, aber dennoch rasch vorankommt. Welcher Kraft ist das zu verdanken? Die Straße stellt eine schiefe Ebene dar, und die Hangabtriebskraft lässt das Rad hinabrollen.

Plötzlich wird die Abfahrt noch steiler. Das Fahrrad schießt vorwärts, als habe es von einer Riesenfaust einen kräftigen Schwung erhalten. Diese Riesenfaust ist zwar nicht vorhanden, aber die Hangabtriebskraft ist größer geworden. Sie nimmt also zu, wenn die schiefe Ebene steiler wird.

Aber nun zur Kehrseite der schönen Talfahrt. Auf dem Rückweg muss man das Rad den steilen Berg hinaufschieben, weil die Kräfte nicht zum Treten ausreichen. Hatte man vorher die Hangabtriebskraft zur Bundesgenossin, um schnell vorwärts zu kommen, so ist sie jetzt zur Gegnerin geworden. Man muss sie überwinden, wenn man auf den Berg gelangen will.

Wird dann die Steigung geringer, braucht man sich auch viel weniger anzustrengen. Wir können daraus zweierlei lernen:

1. Wenn man einen Körper eine schiefe Ebene hinaufbewegen will, dann muss man die Hangabtriebskraft überwinden. Sie ist kleiner als das Gewicht des Körpers.
2. Die Hangabtriebskraft ändert sich mit der Steilheit der schiefen Ebene. Will man sich wenig anstrengen, darf die schiefe Ebene nur schwach ansteigen.

Das alles war bereits den Ägyptern bekannt. Aber wahrscheinlich wussten sie nicht, dass man die Hangabtriebskraft genau berechnen kann. Wir wollen das am Beispiel der alten Steinrampe tun!

Wenn wir uns auf Herodots Angaben verlassen können, dann war sie 925 Meter lang und etwa 15 Meter hoch.

Man teilt zunächst die Höhe durch die Länge. So erhält man einen Bruch, der die "Steigung" der schiefen Ebene ausdrückt.

$$\text{Steigung} = \frac{\text{Höhe}}{\text{Länge}} = \frac{15\text{m}}{925\text{m}} = \frac{3}{185} \approx \frac{1}{60}$$

Die Steigung der Rampe beträgt also rund  $\frac{1}{60}$ . Mit diesem Wert lässt sich die Hangabtriebskraft errechnen. Dazu benötigt man noch das Gewicht des Körpers, der auf der schiefen Ebene bewegt werden soll, in diesem Falle also das Durchschnittsgewicht eines Steinblockes. Es beträgt 2500 Kilopond.

Dann ist die Hangabtriebskraft = Gewicht · Steigung, also

$$P = G \cdot \frac{1}{60} = 2500\text{kp} \cdot \frac{1}{60} = \frac{2500}{60}\text{kp} = 41,6\text{kp} \approx 42\text{kp}$$

Die ägyptischen Sklaven brauchten also nur den sechzigsten Teil der Last zu überwinden, um den Steinblock in die Höhe zu schaffen. Ein beachtlicher Vorteil!

Aber jeder Vorteil muss bezahlt werden. Die Sklaven mussten dafür einen fast kilometerlangen Weg auf der schiefen Ebene zurücklegen. Was sie an Kraft sparten, mussten sie an Weg zusetzen.

Kann die Rechnung eigentlich stimmen? Wenn die Hangabtriebskraft nur 42 Kilopond betrug, dann brauchten sich die Sklaven doch nicht anzustrengen! Dann hätten zwei Mann ganz bequem den Steinblock bewältigen und sich obendrein Geschichten erzählen können.

Man darf nicht die Reibung vergessen! Um sie zu überwinden, mussten die Sklaven eine Kraft von fast 2000 Kilopond aufbieten. Rechnen wir die Hangabtriebskraft dazu, so ergeben sich 2042 Kilopond.

Lohnte es sich, wegen dieser geringen Kraftersparnis zehn lange Jahre an der Rampe zu bauen?

Die Baumeister wussten schon, was sie taten. Ohne diese Rampe hätte man die Felsblöcke senkrecht in die Höhe heben müssen. Die Rampe war eine zwar einfache, aber notwendige "Hebemaschine".

Nachdem die Sklaven die Rampe endlich fertiggestellt hatten, begannen sie mit dem Transport. Sie spannten sich vor die schweren Schleifen und zerrten sie die lange Rampe hinauf.

Die Sonne brannte auf die gekrümmten, keuchenden Menschen nieder. Das Geschrei der Antreiber gellte ihnen unausgesetzt in den Ohren. Hatten sie endlich, zu Tode erschöpft, ihren Steinblock abgeliefert, taumelten sie den langen Weg zurück. Dort erwartete sie schon eine neue Last. Auf diese qualvolle Weise wurden alle 2300000 Blöcke zum Bauplatz geschleift.

Die Baumeister kümmerten sich nicht um die Leiden der Sklaven. Sie hatten ihre technische Aufgabe gelöst; das Baumaterial war zur Stelle.

Außerdem hatten sie genug andere Sorgen: Sie mussten den Bau der Pyramide bewerkstelligen.

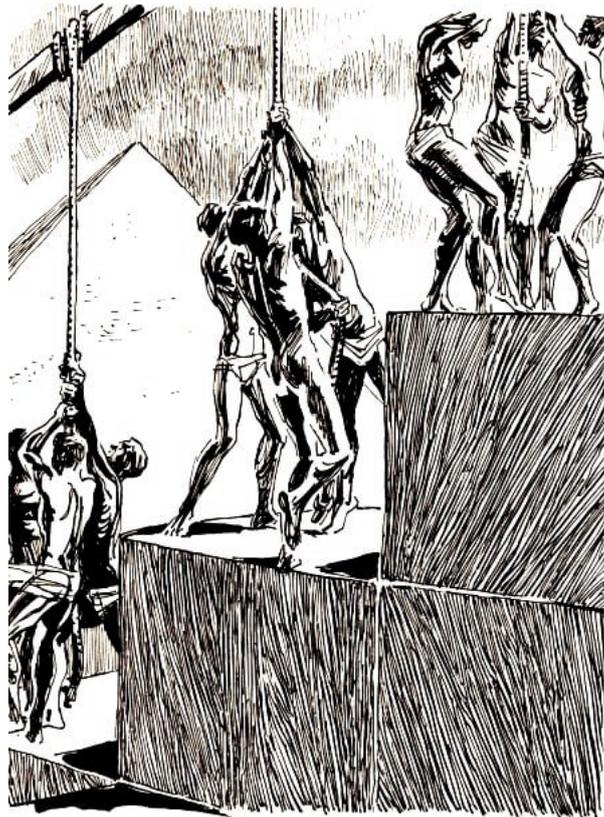
## 2.10 Und wieder Rätsel

Die Pyramide zeigt sich heute so, wie sie einst im Rohbau ausgesehen hat. Sie gleicht einer riesenhaften Treppe, denn ihre vier Seitenflächen steigen stufenförmig an. Die Baumeister hatten sie ursprünglich mit glattpolierten oder verzierten Steinen verkleiden lassen.

Dadurch verbargen sie den geheimen Eingang. Diese Verkleidung ist heute verschwunden. Deshalb erkennen wir auf den ersten Blick, dass die Steinblöcke schichtweise aufeinandergelegt worden sind. Bis zur Spitze sind es 203 solcher Steinblockschichten. Die Pyramide hat keine Fundamente. Die Baumeister ließen sie direkt auf den Felsen setzen. Wie könnte das vor sich gegangen sein?



Zunächst mussten Steinmetze den Felsen mühselig so lange mit Hammer und Meißel behauen, bis sie eine völlig ebene Fläche geschaffen hatten. Das war nicht leicht, denn die Fläche umfasste 53 000 Quadratmeter. Auf dieses ebene Quadrat schleiften die Sklaven die ersten Steinquader. Block für Block wurde exakt aneinandergesetzt, bis die Grundfläche bedeckt war. So entstand die erste Schicht.



Sie war eineinhalb Meter hoch. Darauf kam die zweite Schicht. Dazu mussten die Blöcke bereits gehoben werden. War die zweite Schicht gelegt, kam darauf die dritte, dann die vierte. Jede neue Schicht war in ihren Ausmaßen etwas kleiner als die vorherige. So bildeten alle 203 Schichten schließlich die spitz zulaufende Pyramide. Wie ist es den Baumeistern gelungen, die schweren Steine so hoch aufeinander türmen zu lassen?

Die Forscher haben lange an diesem Problem gerätselt. Oft waren sie verschiedener

Meinung. Das hatte seine Gründe. Wir wissen bereits, dass die Forscher sehr viele überlieferte Darstellungen aus jener Zeit entdeckt haben. Aber auf keinem dieser Bilder ist der Bau einer Pyramide dargestellt.

Auf einem Bild wird lediglich die Audienz eines Baumeisters beim Pharao gezeigt. Auf einem anderen ist zu sehen, wie die Ägypter Ziegelsteine fabriziert und transportiert haben. Aber nirgends fanden die Forscher irgendwelche Maschinen, Hebebäume, Gerüste oder Rampen abgebildet, die ihnen zeigen konnten, wie die Felsblöcke gehoben wurden.

Dieses Problem ist bis heute nicht ganz geklärt.

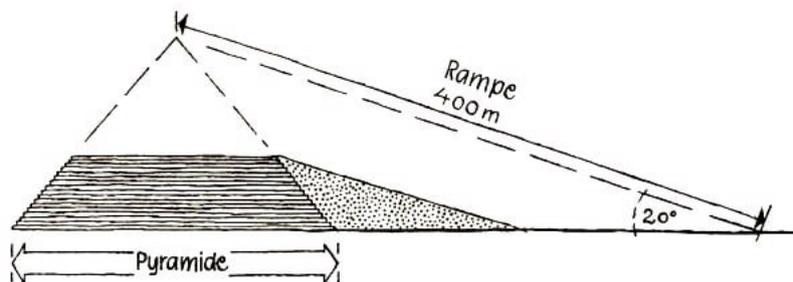
Eines ist sicher: Die Muskelkräfte der Sklaven allein reichten dazu nicht aus. Es sind Vorrichtungen verwendet worden, die kräftesparend wirkten. Mit anderen Worten, die Sklaven benutzten einfache Maschinen.

Aber welche kämen hier in Frage? Vielleicht ein Flaschenzug oder eine Winde? Ein Flaschenzug besteht aus Seilen und Rollen. Da aber die Ägypter das Rad erst 1000 Jahre später kennenlernten, konnten sie auch keine Seilrollen und damit keine Flaschenzüge benutzt haben.

Die Winde wurde noch viel später erfunden. Die Menschen standen ja erst ganz am Anfang der technischen Entwicklung, als die Pyramiden erbaut wurden. Die einzigen einfachen Maschinen, die sie ganz sicher gekannt haben, waren der Hebel, die schiefe Ebene und der Keil. Der Keil kommt hier nicht in Betracht. Er wurde als Schneidewerkzeug oder als Meißel verwendet.

Hat man hier die schiefe Ebene eingesetzt?

Wie wir annehmen, legten die Sklaven zunächst die erste Steinschicht auf den Baugrund. Damit sie die nächsten Steinblöcke auftürmen konnten, schütteten sie eine schiefe Ebene auf. Anfangs war sie nur klein. Sie brauchte ja nur eineinhalb Meter hoch zu sein. Allerdings durfte sie nicht zu steil ansteigen, denn je steiler sie war, um so weniger Kraft sparte sie. Deshalb wollen wir annehmen, dass sie mit dem waagerechten Baugrund einen Winkel von nur 20 Grad bildete. Bei diesem Neigungswinkel war sie zunächst 4,50 Meter lang.



Je weiter der Pyramidenbau fortschritt, desto höher und länger musste die Baurampe aufgeschüttet werden

Dann wuchs und wuchs der Bau in die Höhe. Die Sklaven mussten die schiefe Ebene immer höher aufschütten. Aber der Neigungswinkel sollte nach wie vor klein bleiben. Deshalb musste die Ebene von Stufe zu Stufe nicht nur erhöht, sondern auch verlängert werden.

Zum Schluss reichte sie bis zur Spitze der Pyramide und war fast einen halben Kilometer lang. War das Bauwerk fertig, dann musste diese Riesenrampe wieder abgetragen werden.

Es kann aber auch ganz anders zugegangen sein. Man kann sich vorstellen, dass die Rampe wie eine rechtwinkelig ansteigende Straße um die Pyramide herumführte. Möglicherweise haben die Sklaven auch ein ganzes System von vielen kleineren Rampen angelegt. Dass aber die schiefe Ebene verwendet wurde, ist ziemlich sicher.

Man hat nämlich an der benachbarten Chefrenpyramide Reste einer Baurampe entdeckt, ein Beweis dafür, dass sich die Ägypter dieser Vorrichtung bedienten.

Aber konnten sie nicht auch Hebel benutzt haben? Es gab viele Forscher, die sich dafür aussprachen. Sie hatten in Herodots Schriften gelesen, was dieser über den Pyramidenbau erfahren hatte. Er erwähnte tatsächlich einfache Hebemaschinen. Leider beschrieb er nicht genau, wie sie aussahen.

Er schrieb nur, dass sie kurze hölzerne Arme hatten und leicht zu versetzen waren.

Im Jahre 1925 stellte sich der deutsche Ingenieur Croon eine interessante Aufgabe. Er hatte sich Gedanken darüber gemacht, wie diese legendären Maschinen wohl ausgesehen haben mochten. Es reizte ihn, so eine Maschine zu rekonstruieren, das heißt nachzubilden.

Zunächst musste er herausfinden, wofür die Ägypter "hölzerne Arme" verwendet hatten und wie diese aussahen. Eigentlich konnte es sich nur um Hebel handeln.



Mit solchen einfachen aber zweckmäßigen Schöpfwerken förderten die Ägypter Wasser auf ihre höher gelegenen Felder

Auf seiner Suche stieß er auf eine uralte Vorrichtung, die die ägyptischen Bauern zum Wasserheben benutzten. Sie mussten nämlich, ebenso wie heute auch, ihre Felder künstlich bewässern. Deshalb legten sie Dämme und Kanäle an.

Dort, wo ihre Felder zu hoch lagen, bauten sie Schöpfwerke. Diese waren sehr einfach. Zwischen zwei Pfählen ließ sich ein Hebel drehen.

Er hatte einen langen und einen kurzen Arm. An dem langen Arm hing ein Ledereimer. Dieser wurde ins untere Becken getaucht.

War er vollgelaufen, hob man ihn hoch und schüttete das Wasser in das höhergelegene Becken. Das Schöpfen musste ununterbrochen erfolgen und wäre äußerst anstrengend gewesen.

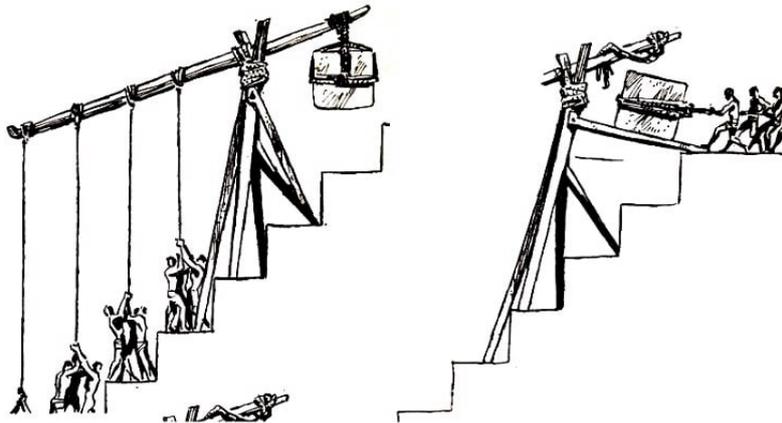
Aber die klugen Bauern brauchten den gefüllten Eimer nicht mit ihrer Muskelkraft zu

heben. Das besorgte ein dicker Lehmklumpen oder ein schwerer Stein, mit dem der kurze Hebelarm beschwert war.

Als Croon dieses einfache Schöpfwerk betrachtete, kam ihm ein Gedanke. Waren das nicht "hölzerne Arme"?

Konnte das Hebezeug, das Herodot erwähnt hatte, so ähnlich ausgesehen haben?

Und Croon entwarf nach dem Vorbild der alten Schöpfwerke eine einfache Hebemaschine.



So stellte sich der deutsche Ingenieur Croon die altägyptischen Hebemaschinen vor.

Oben: Der Steinblock wird mittels eines Hebels um etwa zwei Meter gehoben.

Unten: Der gehobene Stein muss über Gleitschienen auf eine bereits

Sie besteht aus einem stativartigen Gestell, in das ein Hebel gelagert ist. An dem kurzen Hebelarm ist der Steinblock befestigt, von dem anderen Arm hängen mehrere Seile herab.

Die Sklaven standen auf den bereits erbauten Stufen der Pyramide und zogen an den Seilen. Dadurch hoben sie den Steinblock um jeweils eine Stufe. Dort setzten sie ihn ab.

Danach versetzten sie die Maschine auf die nächsthöhere Stufe und banden den Steinblock erneut an den Hebelarm.

So erklimmen sie mit ihrer Last Stufe für Stufe. Man kann sich denken, wie langsam die Arbeit vor sich ging. Wenn die Sklaven hart arbeiteten, konnten sie in einer Stunde schätzungsweise vier Stufen bewältigen.

Nach einem zehnstündigen Arbeitstag hatten sie den Block erst auf ein Viertel der Pyramidenhöhe, auf etwa 35 Meter Höhe gebracht. Sie mussten also sehr viele dieser Maschinen einsetzen.

Die Rekonstruktion von Croon ist sehr interessant. Aber eine Gewissheit, dass diese Hebemaschine tatsächlich existiert hat, gibt es nicht.

Vielleicht hatten die Baumeister auch andere Maschinen ersonnen. Aber auf jeden Fall waren diese Vorrichtungen sehr einfach und arbeiteten nur langsam. Dieser Mangel musste durch eine große Anzahl von Arbeitssklaven wettgemacht werden.

Deshalb wimmelte es auf dem Bauplatz von Menschen.

Sie schufteten vom frühen Morgen bis zum Dunkelwerden. Dennoch kam der Bau nur langsam voran.

Herodot berichtete, dass die Sklaven 20 Jahre an der Cheopspyramide arbeiteten. Rechnen wir die Bauzeit für die Steinrampe hinzu, so dauerte die ungeheure Arbeitslast, die der Pharao dem ägyptischen Volk auferlegte, 30 lange Jahre an.

So vollzog sich der Bau jener großen Pyramide, vor der vier Jahrtausende später Napoleons Gelehrte standen und sie bewunderten. Sie ist bis heute die berühmteste Sehenswürdigkeit des Altertums geblieben. Für die Geschichtsforschung ist sie von großem Wert. Aber das darf uns über eines nicht hinwegtäuschen:

Seit ihrer Entstehung hat sie der Menschheit keinerlei Nutzen gebracht. Sie konnte nicht einmal den Pharao beschützen.

Die Grabkammern sind leer, wahrscheinlich wurden sie schon vor Jahrtausenden ausgeraubt. Die Mumie des Cheops wurde bis heute nicht gefunden. Heute wird niemand mehr auf den Gedanken kommen, eine Pyramide bauen zulassen. Was sollten wir mit diesem seelenlosen Koloss anfangen?

Techniker haben errechnet, dass sein Bau heute zwei Milliarden Mark verschlänge. Niemand würde heute so viel Geld für ein völlig nutzloses Projekt verschwenden. Gewiss, wir wagen uns auch an großartige Bauvorhaben. Auch sie kosten viel Geld und benötigen eine lange Bauzeit.

Denken wir an den Rostocker Hafen, an das Großkraftwerk Lübbenau oder an unser Kunstfaserkombinat. Aber diese Bauten sind produktiv, sind nützlich. Das Geld, das wir zunächst für ihren Bau aufbringen mussten, werden sie uns vielfach vermehrt zurückerstatten.

Aber die Pyramide? Sie sollte den ägyptischen Untertanen lediglich zeigen, welche Macht der egoistische Pharao besaß.

Niemals sonst in der Menschheitsgeschichte wurden die Untertanen eines Despoten zu so unproduktiver Arbeit gezwungen. Tausende der gepeinigten Zwangsarbeiter sind in den 30 Jahren zugrunde gegangen, entweder unter den Qualen der Gluthitze oder unter den Peitschen der Aufseher.

Sie haben nicht einmal die Frucht ihrer schweren Arbeit sehen dürfen. Als namenlose Arbeitstiere wurden sie im Wüstensand verscharrt, und von ihnen blieb keine Spur. Nur ihr grandioses Werk zeugt von ihrem Fleiß, ihrem Können und ihren Leiden.

## 3 Der Titan von Syracus

### 3.1 Ein Wissenschaftler verteidigt eine Stadt

Es vergingen zwei Jahrtausende. Die Pharaonenreiche versanken. Neue Kulturstaaten blühten auf: Griechenland, Rom und Karthago. Griechenland besaß Kolonien in Nordafrika, Süditalien und auf der Insel Sizilien.

Damit beherrschte es Jahrhunderte hindurch das Mittelmeer.

Die Griechen entfalteten eine hohe Kultur. Sie schufen Tempel, Theater und Paläste von unvergänglicher Schönheit und brachten berühmte Dichter und Philosophen hervor, deren Werke noch heute gelesen werden. Griechische Mathematiker und Astronomen vollbrachten geniale Leistungen und begründeten die Mathematik als Wissenschaft.

Wer kennt nicht die Namen Pythagoras von Samos und Thales von Milet?

Ihre mathematischen Lehrsätze sind grundlegend und werden an allen Schulen gelehrt. Thales konstruierte auch den ersten Entfernungsmesser. Außerdem konnte er Sonnenfinsternisse genau vorausberechnen. Pythagoras erforschte die Akustik. Er erfand das Monochord, ein Instrument für Intervallversuche, das auch wir noch im Physikunterricht benutzen.

Dem Gelehrten Eratosthenes gelang ein schwieriger Messversuch: Er bewies die Kugelgestalt der Erde und berechnete den Erdumfang mit 39250 Kilometern. Der wirkliche Umfang, 40000 Kilometer, weicht nur wenig davon ab.

Aus dem Griechischen stammt auch das Wort "Mechanik", was ins Deutsche übertragen "Maschinenkunst" bedeutet. Griechische Techniker entwarfen alle möglichen Maschinen, zum Teil für Kriegszwecke, aber auch zur Bewässerung der Felder und zum Heben von Lasten. Es entstanden Flaschenzüge und Winden. Eine besonders klug ersonnene Erfindung war die Schraube.

Sind das nicht alles beachtliche Leistungen?

Wenn wir unsere heutige moderne Wissenschaft, also die Mathematik, Chemie, Physik, Astronomie, mit einem hohen, kompliziert angelegten Gebäude vergleichen, dann haben griechische Gelehrte das Fundament dazu gelegt. Wir verdanken diesen Männern viel; aber nicht nur ihnen allein.

Ebenso wie im alten Ägypten gab es auch bei den Griechen unzählige Sklaven. Sie wurden gekauft und verkauft wie eine Ware. Man sah in ihnen keine Menschen, sondern nur Arbeitskräfte, eine Art lebendiger Werkzeuge. Jeder freie Handwerker, jeder Bürger besaß Sklaven. Sie verrichteten alle schweren Arbeiten und schufen den Reichtum Griechenlands.

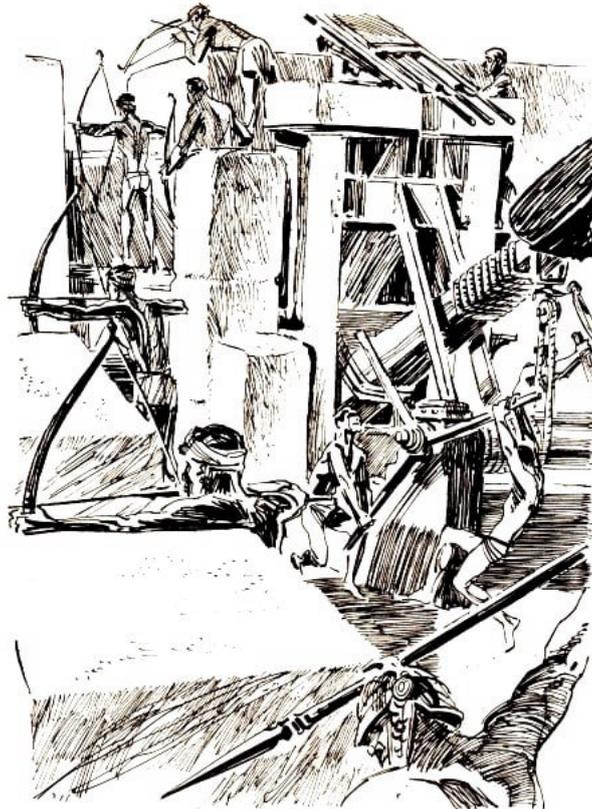
Deshalb brauchten die Vornehmen unter den Griechen nicht körperlich zu arbeiten. Sie hatten keine Sorgen um ihr leibliches Wohl und konnten sich ausschließlich der Kunst oder der Wissenschaft widmen. Nur so wurden ihre großartigen Leistungen möglich. Dennoch sahen sie oft verächtlich auf die Sklaven herab. Wir aber dürfen diese vielen namenlosen, fleißigen Menschen nicht vergessen.

### 3.1 Ein Wissenschaftler verteidigt eine Stadt

---

Es soll nun aus einer Zeit erzählt werden, in der die Griechen viele blutige Kriege führten. Rom und Karthago hatten sich zu starken Staaten entwickelt. Sie wollten ihre Macht ausweiten und kämpften um den Besitz der Mittelmeerküsten. Wer das Mittelmeer beherrschte, der beherrschte auch Europa, Afrika und Kleinasien.

Besonders verlockend war die Insel Sizilien, die Kornkammer Griechenlands. Auf Sizilien lagen mehrere griechische Stadtstaaten. Der bedeutendste davon hieß Syrakus, eine wichtige Hafenstadt. Sie war das Zentrum des Mittelmeerhandels. Diese Stadt wollten die Römer erobern.



Im Jahre 213 vor unserer Zeitrechnung sandte der römische Senat seinen besten Feldherrn nach Sizilien: M. Claudius Marcellus. Er hatte den Befehl, die Stadt Syrakus einzunehmen. Seine Legion sollte auf dem Festlande gegen die Stadtmauern anstürmen. Eine Flotte, ebenfalls mit Soldaten bemannt, sollte vom Meer her angreifen.

Marcellus war siegesgewiss. Er verließ sich auf seine Kampferfahrung und auf seine ruhmreichen Waffen und eröffnete den Angriff.

Siegesgewohnt und zuversichtlich marschierten seine Kohorten gegen die Stadt. Aber plötzlich flog ihnen ein Hagel von Pfeilen und riesigen Steingeschossen entgegen und schlug verheerend in ihre Reihen. Die überraschten und zu Tode erschrockenen Soldaten vermochten sich nicht zu schützen. Ganze Einheiten wurden zu Boden geworfen. Die Kampfordnung geriet durcheinander.

Der Angriff blieb stecken, noch ehe er richtig begonnen hatte.

Den Soldaten auf den Schiffen erging es weit furchtbarer. Als sie ihre Fahrzeuge dicht an die hohe Stadtmauer herangerudert hatten, stürzten mit Gepolter schwere Balken aus

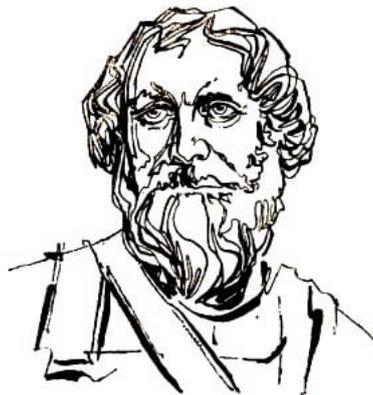
der Festung nieder. Sie waren wie Hörner gekrümmt und bohrten sich wuchtig in einige der angreifenden Schiffe. Andere wurden von riesigen eisernen Haken, Kranichschnäbeln ähnlich, ergriffen und aus dem Wasser gehoben.

Den Soldaten auf den anderen Fahrzeugen erstarrte das Blut in den Adern. Sie sahen, wie ein Schiff in der Luft heftig schaukelte, sahen, wie ihre Kameraden über die Reling stürzten und, von ihren schweren Rüstungen in die Tiefe gezogen, ertranken.

Sie eisernen Klauen der unheimlichen Maschinen öffneten sich und ließen ihre Beute ins Meer zurückfallen; das Schiff kenterte und sank.

Marcellus hatte mit Entsetzen zugesehen. Zähneknirschend musste er seine Schiffe absegeln lassen und auch die Landtruppen zurückziehen. Er begann, die Stadt zu belagern. Immer wieder versuchte er einen Angriff, mal von dieser, dann von jener Seite. Aber alle seine Schliche schlugen fehl. Die Verteidiger verfügten über Kriegsmaschinen, gegen die er machtlos war.

So vergingen zwei Jahre, und er konnte dem römischen Senat immer noch nicht den Sieg melden. Fast war er am Ende seiner Feldherrnkunst. Er fing schon an zu glauben, dass ein Gott diese verdammte Stadt verteidige. Ein Gott? Nein. Auch kein Feldherr, sondern ein genialer Gelehrter! Sein Name war Archimedes.



Archimedes

Als die Römer seine Heimatstadt belagerten, war Archimedes 74 Jahre alt. Er genoss den Ruf, der größte Mathematiker und Physiker seiner Zeit zu sein. Die Römer fürchteten ihn, denn er war es, der diese verheerenden Kriegsmaschinen konstruiert hatte.

Archimedes war um das Jahr 287 vor unserer Zeitrechnung in Syrakus geboren worden. Er stammte aus einer gebildeten und vornehmen Familie. Sein Vater war Astronom, und Archimedes selbst war mit Hieron verwandt, dem König von Syrakus.

In seiner Jugend unternahm Archimedes eine Schiffsreise über das Mittelmeer. Sein Ziel hieß Alexandria, die glänzende Hauptstadt an der ägyptischen Küste.

Alexandria war ein bedeutendes Bildungszentrum der Griechen. Die Stadt war reich an Plätzen, Gärten und herrlichen Palästen. Hier gab es auch eine riesige Bibliothek, die über 500000 Handschriften beherbergte. Im Museion, so hieß die wissenschaftliche Akademie, unterrichteten berühmte Gelehrte. Bei ihnen wollte Archimedes studieren. Er lebte längere Zeit in Alexandria und lernte viele Mathematiker kennen, mit denen er freundschaftlich verbunden blieb.

Nach Jahren kehrte er in seine Heimatstadt zurück. Er hatte in Alexandria vieles gelernt. Jetzt drängte es ihn, selbst zu forschen. Gab es nicht in der Mathematik so viele ungelöste Rätsel?

Noch vermochte man den Kreis ebensowenig zu berechnen wie die Kugel oder den Zylinder. So widmete sich Archimedes ganz der mathematischen Forschung. Dabei war er oftmals so sehr in Gedanken versunken, dass er Essen und Trinken völlig vergaß. Es kam vor, dass man ihn zwingen musste, ein Bad zu nehmen.

Wenn er sich danach mit duftenden Salben massierte, zog er mit dem Finger geometrische Linien auf seinem geölten Körper. Stets war er mit einem Problem beschäftigt. Dann hörte er kaum hin, wenn jemand zu ihm sprach, sondern zeichnete geometrische Figuren in den Sand. Wenn ihm aber eine neue Entdeckung gelungen war, geriet er außer sich vor Freude.

Er fand die Formeln, nach denen wir heute den Umfang und den Flächeninhalt eines Kreises errechnen. Er bestimmte auch die Zahl Pi, die man für die Kreisberechnung benötigt. Mit Hilfe der gleichen Zahl konnte er auch den Rauminhalt und die Oberfläche einer Kugel ermitteln.

Insgesamt hat Archimedes 40 Lehrsätze aufgestellt, die für die Mathematik grundlegende Bedeutung haben.

### 3.2 „Heureka!“

Zu den größten Leistungen des Archimedes' gehört die Entdeckung des Auftriebes. Wie es dazu kam, ist eine interessante Geschichte. Sie wurde uns von dem römischen Schriftsteller Vitruv überliefert.

König Hieron wollte als Weihgeschenk für einen Tempel eine goldene Krone stiften. Er vertraute die abgewogene Goldmenge einem Goldschmied an, der daraus das wertvolle Stück anfertigen sollte. Nach einiger Zeit lieferte ihm der Meister die fertige Krone. Hieron drehte sie prüfend vor seinen Augen und bewunderte die kunstvolle Arbeit. Ein wahres Meisterwerk! Er nickte dem Goldschmied, der in übertrieben demütiger Haltung vor ihm stand, anerkennend zu. Dabei fing er sekundenlang einen lauernden Blick dieses Mannes auf.

Der König stutzte und wurde plötzlich misstrauisch. Hatte ihn der Meister betrogen und sich etwa einen Teil des Goldes in die eigene Tasche gesteckt?

Hieron ließ die Krone genau abwägen. Ihr Gewicht stimmte. Aber das wollte nichts bedeuten. Der König hatte reines Gold übergeben. Der Schmied konnte eine bestimmte Goldmenge gestohlen und das fehlende Gewicht durch Silber ersetzt haben. Wie sollte man jetzt feststellen, ob die Krone aus reinem Gold bestand oder ob sie auch Silber enthielt?

Äußerlich war das nicht zu unterscheiden. Wenn aber der Betrüger überführt werden sollte, musste man ihm den Diebstahl beweisen können. Sicher war das unmöglich. Hieron sah jedenfalls keinen Weg.

Schließlich stellte er diese Aufgabe dem Archimedes, und den Gelehrten, der solche

komplizierten Tüfteleien liebte, ließ dieses Problem Tag und Nacht nicht los. Er vergaß wiederum sein leibliches Wohl. Sogar beim Baden grübelte er darüber nach.

Archimedes ließ sich von Hieron einen Gold- und einen Silberbarren geben, jeder genau abgewogen und so schwer wie die Krone. Man sah auf den ersten Blick, dass die Barren verschieden groß waren. Das Silber hatte einen fast doppelt so großen Rauminhalt als das Gold. Das war etwas ganz Natürliches, denn jedes Metall besitzt ja ein eigenes spezifisches Gewicht. Archimedes überlegte:

Wenn man aus dem Gold und aus dem Silber je eine Krone schmiedete, hätten zweifellos beide das gleiche Gewicht. Aber ebenso sicher müsste die Silberkrone größer sein als die goldene, oder sie hätte stärkere Wandungen, dickere Verzierungen. Gleichviel, sie würde einen wesentlich größeren Rauminhalt ausfüllen.

"Nehmen wir an, ich bin ein betrügerischer Goldschmied", murmelte er nachdenklich, "ich nehme die Hälfte des Goldes weg und gebe dafür die Hälfte des Silberbarrens. Dann schmelze ich beide Hälften und vermische sie. Dieses Gemisch muss mehr Raum einnehmen als dieses Gold auf meinem Tisch."

Sinnend betastete er die glänzenden Barren auf dem Tisch.

"Das ist ja die Lösung der Aufgabe!" rief er plötzlich. "War der Goldschmied ehrlich, dann muss die Königskrone auch das gleiche Volumen haben wie dieser Goldbarren hier."

Sein Zeigefinger trommelte aufgeregt auf das blinkende Metall.

"Ist aber das Volumen der Krone größer, dann ist der König betrogen worden! Ich muss also sofort den Rauminhalt der Krone feststellen."

Er eilte zu Hieron und verlangte, er solle die Krone einschmelzen lassen, damit man daraus einen Barren gießen könne. Dann zeige sich sofort, ob der Goldschmied ein ehrlicher Mann sei. Aber Hieron wehrte lachend ab.

Die Krone sei ein Meisterwerk. Sie dürfe keinesfalls beschädigt, geschweige denn zerstört werden. Das sei Bedingung.

Sinnend besah sich Archimedes die wertvolle Arbeit. Wie sollte er die Krone ausmessen und ihr Volumen berechnen? Sie war ja kein regelmäßiger Körper, sondern reich verziert, und jede Verzierung hatte eine andere Form. Nein, messen konnte man hier nichts. Wiederum vergingen viele Tage, an denen Archimedes grübelte und kaum etwas aß.

Eines Nachmittags stieg er ins Bad und machte eine interessante Feststellung.

Als er ins Wasser tauchte, schien sein Körper auf einmal um vieles leichter zu werden. Zum ersten Mal wurde ihm bewusst, wie sanft und fast schwerelos er im Wasser schwebte und wie sich gleichzeitig der Wasserspiegel veränderte. Sofort stellte er sich in der Wanne auf, um sich gleich darauf wieder zu setzen.

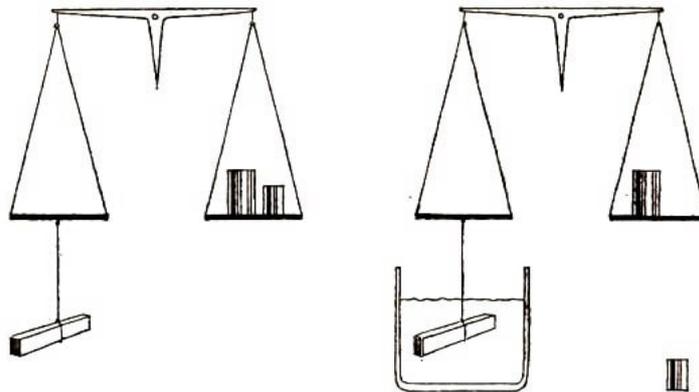
Er hatte sich nicht getäuscht: Der Wasserspiegel stieg an, wenn sein Körper eintauchte. Er konnte es deutlich am Wannenrand erkennen.

Warum geschah das? Doch nur, weil er das Wasser verdrängte. Und er verdrängte nur so viel Wasser, wie sein eigener Körper an Volumen ausfüllte, darüber bestand kein

Zweifel. Wenn man also die Wanne bis zum Rand volllaufen ließe und tauchte dann ein, so musste das verdrängte Wasser überlaufen. Man konnte es auffangen und in einem Hohlmaß nachmessen. Und so müsste man es auch mit der Krone machen!

Archimedes vergaß, dass er nackt in der Wanne saß. Er sprang aus dem Wasser, rannte wie von Sinnen auf die Straße und rief in einem fort voller Begeisterung: "Ich hab's gefunden! Heureka!"

Die Menschen blieben betroffen stehen und starrten hinter dem unbedeckten Archimedes her, der seine Arme wie Windmühlenflügel schwang und immer wieder "Heureka!" rief. "Heureka! - Heureka!"



Im Wasser wiegt ein Körper scheinbar leichter, denn er erhält einen Auftrieb

Archimedes ließ sich ein Gefäß anfertigen, in dem die Krone bequem Platz fand und das eine schnabelförmige Tülle aufwies. Wenn er einen Körper in dieses Gefäß tauchte, so lief die verdrängte Wassermenge aus dem Schnabel heraus, kein Tropfen mehr, aber auch kein Tropfen weniger.

Behutsam tauchte er die Krone ein. Er fing das verdrängte Wasser in einem Messbecher auf und markierte den Wasserstand. Dann wiederholte er den Versuch, diesmal mit dem Goldbarren. Jetzt musste sich zeigen, ob der Verdacht des Königs zu Recht bestand. Gespannt sah Archimedes zu, wie das verdrängte Wasser in den Messbecher floss. Langsam stieg es darin an, aber noch ehe der Wasserspiegel die Markierung erreicht hatte, hörte es auf zu fließen.

Damit war der Betrüger überführt. Die Krone hatte mehr Wasser verdrängt als der Goldbarren; ihr Volumen war größer. Folglich bestand sie aus einem Silber-Gold-Gemisch, das spezifisch leichter war als Gold.

Aber da gab es noch ein anderes Problem. Archimedes war aufgefallen, dass die Versuchskörper scheinbar leichter wurden, wenn sie sich im Wasser befanden. Die gleiche Erfahrung hatte er bereits beim Baden gemacht.

Was mochte dahinterstecken?

Der Goldbarren war in der Luft 400 Obolen<sup>6</sup> schwer, ebenso schwer waren auch das Silber und die Krone. Nun wollte Archimedes wissen, wieviel diese Stücke noch im Wasser wogen. Er band den Goldbarren mit einem Faden an die Waage.

---

<sup>6</sup>Das Gewicht wurde vom Autor angenommen. 1 Obolos = 1,04 Pond; 400 Obolen = 416 Pond

Der Faden war so lang, dass das Goldstück in ein Wassergefäß tauchen konnte. Der Barren wog jetzt nur noch  $377\frac{2}{3}$  Obolen; er war also um  $22\frac{2}{3}$  Obolen leichter geworden.

Archimedes überlegte. Der Gewichtsverlust konnte nur vom Druck des Wassers herrühren. Er musste mit einer bestimmten Kraft von unten gegen den Körper wirken und einen Teil seines Gewichts aufheben.

"Diese Kraft möchte den Körper an die Wasseroberfläche treiben", sann Archimedes, "man kann sie deshalb Auftrieb nennen."

Er legte den nassen Goldbarren zur Seite und griff nach dem Silberstück. Ob es den gleichen Auftrieb erhielt?

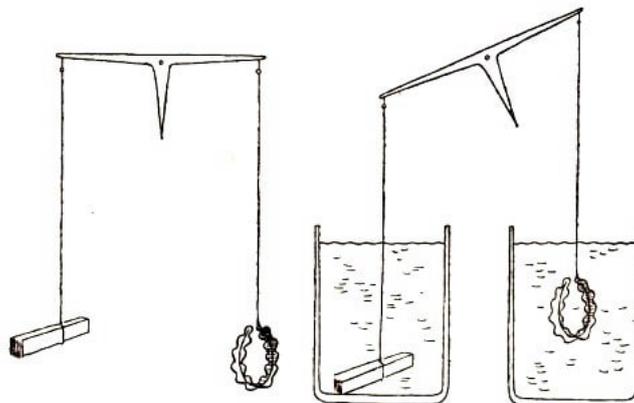
Eigentlich müsste es so sein; es besaß ja auch das gleiche Gewicht. Zu seiner Überraschung stellte Archimedes fest, dass der Auftrieb diesmal größer war. Das Silber wog im Wasser nur  $358\frac{2}{3}$  Obolen; sein Auftrieb betrug also fast das Doppelte, nämlich  $41\frac{1}{3}$  Obolen.

Archimedes' Blick wanderte ratlos zwischen dem Gold- und dem Silberstück. Hatte er sich beim Wägen geirrt? Ausgeschlossen! Er hatte die Zahlen gewissenhaft auf diesen Papyrusstreifen notiert.

Dann hing also der Auftrieb nicht allein vom Gewicht der Körper ab! Er hätte sonst beide Male gleich sein müssen. Worin unterschieden sich die beiden Körper?

Plötzlich schlug sich Archimedes gegen die Stirn. Natürlich, dass er darauf nicht sofort gekommen war! Die Barren hatten ja verschieden große Rauminhalte, sie verdrängten unterschiedliche Wassermengen! Das war des Rätsels Lösung! Der Auftrieb musste von der Wasserverdrängung abhängig sein.

Archimedes ging diesem neuen Gedanken mit Eifer nach. Er tauchte das Silberstück noch einmal ein, fing aber das verdrängte Wasser in einem Gefäß auf. Dann wog er, einer Eingebung folgend, dieses verdrängte Wasser genau ab. Es war  $41\frac{1}{3}$  Obolen schwer. Er schrieb die Zahl auf den Papyrusstreifen, und dabei fiel ihm auf, dass sie schon einmal dort stand. Er hatte sie notiert, nachdem er den Auftrieb des Silbers festgestellt hatte. Demnach waren der Auftrieb und das Gewicht der verdrängten Wassermenge gleich groß.



In der Luft wogen der Goldbarren sowie die Krone das gleiche. Im Wasser wog die Krone scheinbar leichter; sie erhielt einen größeren Auftrieb als der Barren

Konnte das ein Zufall sein?

Seine Finger zitterten vor Aufregung, als er das Silber gegen das Gold vertauschte. Diesmal wog das verdrängte Wasser  $22\frac{2}{5}$  Obolen, es betrug also ebensoviel wie der Auftrieb des Goldbarrens.

Um ganz sicher zu gehen, knüpfte Archimedes die umstrittene Krone an die andere Seite der Waage. In der Luft wogen beide Stücke gleich; der Waagebalken stand waagrecht. Dann tauchte Archimedes beide Körper in Wasser, und der Balken stellte sich schräg. Der Auftrieb, den die Krone erhielt, war also größer.

Sie verdrängte mehr Wasser, weil ihr Volumen infolge ihres Silbergehaltes ebenfalls größer war als das des reinen Goldes. Hier hatte Archimedes noch eine zweite Möglichkeit, den Dieb zu überführen, überzeugender noch als die erste.



Als der König erfuhr, dass er der Betrogene war, stampfte er mit dem Fuß auf und rief mit zorniger Stimme nach dem Goldschmied. Soldaten schleppten den zitternden Fälscher herbei. Der stritt zunächst jede Schuld ab.

Aber als ihm der König vorhielt, kein Geringerer als Archimedes selbst könne ihm seine Schurkerei nachweisen, da brach er zusammen und gestand seine Tat. Er wurde streng bestraft.

### 3.3 „Ich bewege den Erdball!“

Archimedes hockte nicht am Studiertisch. Oft ging er durch die Stadt, um das Leben und Treiben auf den Straßen zu beobachten.

An den Händlern und Marktschreiern ging er schnell vorüber. Um so mehr fesselten ihn die Handwerker, die Schmiede, die Tischler, die Maurer. Und was gab es erst im Hafen und auf der Werft alles zu sehen! Hier schallten die Rufe der Zimmerer, klopfen

die Hämmer, kreischten die Sägen. Hier entstanden die großen Schiffe. Die geschickten Zimmerleute fügten die schweren Planken, richteten die hohen Bordwände auf und setzten die langen Mastbäume ein.

An anderer Stelle wurde ein Schiff unter großer Anstrengung auf die Werft gezogen, damit es ausgebessert werden konnte. 50 starke Sklaven legten sich mit aller Kraft in die Tauen. Aber nur langsam rollte der schwere Schiffsrumpf auf Walzen über eine schiefe Ebene an Land.

Archimedes konnte diesen Arbeiten immer wieder zuschauen. Aber er war keiner von den tatenlosen Gaffern, die nur aus Langeweile zusahen. Seine Gedanken verarbeiteten unentwegt, was seine Augen beobachteten. Er sah, wie mühsam die Arbeiten vor sich gingen. Konnte man nicht, Maschinen ersinnen, die Kraft sparen?

Kraft sparen! Dieses Ziel erstrebten die Techniker jener Zeit. Es war ihr Traum, mit einer kleinen Muskelkraft möglichst große Lasten zu bewegen.

Archimedes verfolgte das gleiche Ziel. Und da er die Mathematik glänzend beherrschte, hatte er auch Erfolg und entdeckte viele Gesetze der Mechanik. Er war wohl der erste Techniker, der Maschinen entwarf, die er vorher genau berechnet hatte.

Da gab es den Hebel. Seine Verwendung war uralte. Archimedes hatte gesehen, wie man mit diesem Gerät Kraft sparen konnte. Die Arbeiter schoben eine eiserne Stange unter die Last, ganz gleich, ob es sich um einen Stein, einen Baumstamm oder eine Kiste handelte. Dann packten sie den langen Arm des Hebels und konnten die Last ohne Anstrengung anheben.

Archimedes ahnte, dass dem Hebel eine genaue Gesetzmäßigkeit innewohnen müsse. Diese wollte er finden.

Er suchte einen gleichmäßig geschnittenen Holzstab, den er als Hebelmodell benutzen wollte, und an dem sich die Kräfte messen ließen. Die Gesetze, die diesem kleinen Hebel innewohnten, konnte man dann im großen anwenden.

Aber zunächst brauchte er eine messbare Kraft.

Er füllte Sand in einen Stoffbeutel, bis dieser genau 40 Drachmen<sup>7</sup> wog und band ihn ans Ende des Stabes. Im Garten fand er eine Unterstüzung - einen Drehpunkt - für seinen Hebel. Dann fasste er das freie Ende des Stabes mit der Hand.

Prüfend schätzte er die Kraft, mit der er den Hebel im Gleichgewicht halten musste. Er näherte die Hand nach und nach dem Drehpunkt und spürte, wie seine Kraftanstrengung dabei größer und größer wurde.

Kein Zweifel! Die Kraftersparnis hing von der Länge des Hebelarmes ab.

Aber so kam er nicht weiter. Woher sollte er wissen, wie groß seine Muskelkraft jeweils war? Er musste sie ersetzen. Ersetzen durch eine andere Kraft, die er genau messen konnte.

Eilends beschaffte er sich noch weitere Stoffbeutel und wog verschiedene Mengen Sand hinein. Ihm war der Gedanke gekommen, an beide Hebelarme Sandbeutel zu hängen.

---

<sup>7</sup>1 Drachme = 4,4 Pond; 40 Drachmen = 176 Pond

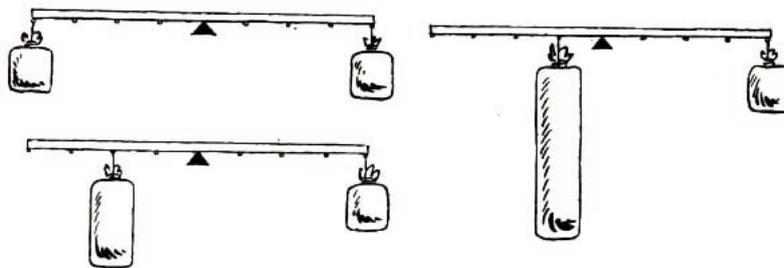
Der eine Beutel konnte die Last darstellen, die zu heben war, während der andere seine Muskelkraft zu ersetzen hatte.

Zunächst hängte er an jeden Hebelarm einen Beutel von 40 Drachmen Gewicht. Damit der Stab jetzt im Gleichgewicht blieb, musste er genau in seiner Mitte unterstützt werden.

Somit waren beide Hebelarme gleich lang. Wenn also die Arme gleich sind, überlegte Archimedes, dann sind Kraft und Last ebenfalls gleich groß. Und so spart man auch keine Kraft.

Nun, das überraschte ihn nicht. Auf diesem Prinzip beruhte ja die Waage, mit der er den Sand abgewogen hatte. Und die Waage war ein uraltes Gerät; bereits die Ägypter hatten es benutzt. Was er hier entdeckt hatte, war nicht der Rede wert. Er band die Last wieder los.

Archimedes ergriff einen Beutel mit 80 Drachmen Sand. Nachdenklich wog er ihn in der Hand. An welchen Punkt müsste er ihn hängen, damit er von dem anderen, halb so schweren Beutel im Gleichgewicht gehalten würde?



Kräfte am Hebel: Eine kleine Kraft hält einer großen Last das Gleichgewicht. Dabei muss der Lastarm stets kürzer sein als der Kraftarm

Er probierte geduldig, bis der belastete Stab waagrecht ruhte. Nun waren die Hebelarme sehr ungleich. Der Arm, an dem 40 Drachmen zogen, war doppelt so lang wie der andere. Und an diesem kurzen Arm war dafür die doppelte Last von 80 Drachmen befestigt.

Um ganz sicher zu gehen, maß er genau nach. Der eine Arm war vier, der andere zwei Fuß lang. Sie verhielten sich also wie 2:1.

Genau umgekehrt war das Verhältnis der Kräfte, nämlich 40:80 oder 1:2. Man sparte somit die Hälfte der Kraft, wenn man den Hebelarm doppelt so lang machte.

War das schon die Lösung?

Archimedes hockte sich auf einen Stein und begann mit einem Stock in den Sand zu zeichnen. Er zog eine Gerade und bezeichnete daran den Drehpunkt.

"Der Hebel hat zwei ungleiche Arme", murmelte er, während er unentwegt rechnete und schrieb, "wir müssen sie unterscheiden! Nennen wir den Arm, an dem die Kraft wirkt, Kraftarm. Der andere Arm ist kürzer; das ist der Lastarm. Diese beiden Arme setze ich in ein Verhältnis, also vier Fuß zu zwei Fuß."

Er rieb sich die Stirn und grübelte angestrengt. Er war ganz versunken in seine Aufgabe.



"Aus Last und Kraft aber bilde ich ebenfalls ein Verhältnis, und zwar 80 Drachmen zu 40 Drachmen", überlegte er.

"Diese beiden Verhältnisse sind gleich. Und damit haben wir auch das Gesetz, das wir brauchen: Last zu Kraft verhalten sich ebenso wie Kraftarm zu Lastarm!"

Er schrieb die Zahlen in den Sand,  $80:40 = 4:2$ .

"Aber", überlegte Archimedes weiter, "dieses Gesetz lässt sich auch anders ausdrücken. Man kann aus den Verhältnissen Produkte bilden. Aus 80 zu 40 gleich 4 zu 2 entsteht somit  $40 \text{ mal } 4 \text{ gleich } 80 \text{ mal } 2$ ;  $\text{Kraft mal Kraftarm gleich Last mal Lastarm}$ ." Archimedes rechnete nach und nickte befriedigt.

"Es stimmt", rief er, während er auf sein Hebelmodell hinübersah, "40 Drachmen mal 4 Fuß auf der einen Seite ergeben 160, das gleiche Produkt wie auf der anderen Seite, 80 Drachmen mal 2 Fuß!"

Er sprang auf. Er musste dieses Gesetz prüfen. Fieberhaft knüpfte er einen 160 Drachmen schweren Beutel an den Stab. Wenn seine Berechnung stimmte, dann musste diese vierfache Last auch einen viermal so langen Kraftarm benötigen.

Tatsächlich, die 40 Drachmen an dem vierfach langen Kraftarm hielten den 160 Drachmen die Waage. Drei Viertel der Kraft wurden gespart. Kräfte und Arme verhielten sich jetzt wie 1:4.

Archimedes schritt freudig erregt in seinem Garten auf und ab. Man konnte ja den Kraftarm beliebig lang machen, zehn-, hundert-, ja tausendfach länger, wenn man wollte. Und sparte die tausendfache Kraft!

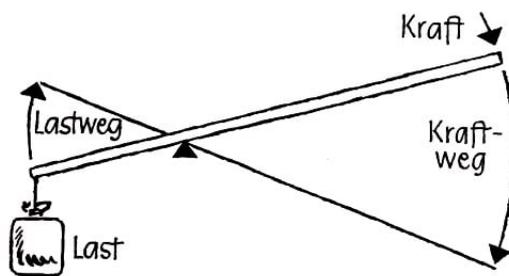
Überwältigt von diesem Gedanken, begann Archimedes zu rechnen. Wenn der Kraftarm tausendmal länger als der Lastarm würde, welche gewaltige Last ließe sich damit heben? Brächte ein Mensch auch nur die Kraft von zwei Talenten<sup>8</sup> auf, so könnte er mit so einem Hebel 2000 Talente bewältigen.

Wahre Titanenkräfte waren das!

Plötzlich kamen Archimedes Bedenken. Ließ die Natur sich so betrügen? Hatte sie jemals freigebig verschenkt? Kräfte aus dem Nichts geschaffen? Die Sache musste einen Haken haben.

---

<sup>8</sup>1 Talent = 36 Kilopond; 2000 Talente = 72000 Kilopond



Vergleich von Kraftweg und Lastweg am Hebel. Will man Kraft sparen, muss die Kraft einen längeren Weg zurücklegen als die Last

Nachdenklich fasste er wieder den Hebel und bewegte ihn auf und nieder. Wenn er auf den Kraftarm drückte, wurde die Last gehoben. Sie legte dabei einen Weg zurück und beschrieb einen Kreisbogen. Ebenso auch der Punkt, den seine Hand umfasst hielt, der Angriffspunkt der Kraft.

Archimedes startete auf die Linie, die er in den Sand gezeichnet hatte. Dann kam ihm ein neuer Gedanke. Er zog eine zweite Gerade, die die erste im Drehpunkt kreuzte, zog weiterhin die Kreisbogen, also die Wege von Kraft und Last. Er verglich sie. Kein Zweifel!

Wenn er die halbe Kraft sparen wollte, musste sie dafür den doppelten Weg zurücklegen. Tausendfache Kraftersparnis! Das bedeutete tausendfachen Kraftweg.

Sollte die Last nur um einen Fuß gehoben werden, so musste dafür die Kraft einen Weg von tausend Fuß zurücklegen. Einen solchen Hebel zu bauen, war praktisch nicht möglich. Er müsste ja bis in den Himmel hinein reichen.

Theoretisch konnte man also mit einem Hebel Berge versetzen; sein Kraftarm müsste nur lang genug sein. Aber wie sollte man diesen Riesenhebel bedienen?

Archimedes war keineswegs niedergeschlagen über diese Erkenntnis. Wer schrieb denn vor, dass der Hebel eine gerade, unhandliche Stange sein musste?

Konnte man ihn nicht beliebig formen, ihn zweckmäßig mit Rollen, Seilen, Zahnrädern, Gewinden oder anderen Elementen verbinden? Das war eine Sache der Überlegung, der sinnreichen Konstruktion. Man hatte nur dabei im Auge zu behalten, was er soeben entdeckt hatte, dass man nämlich die Kraft zwingen musste, einen möglichst langen Kraftweg zurückzulegen.

Was tat denn ein Lastträger, wenn er eine Last nicht auf einmal fortschleppen konnte? Er teilte die Menge auf in drei, in zehn, in hundert kleine Einzellasten, je nachdem. Und wollte er jedesmal nur den hundertsten Teil der Last tragen, so musste er den Weg natürlich hundertmal zurücklegen.

In der Mechanik war das nicht anders. Es war ein Gesetz der Natur, so klar wie Quellwasser. Man musste dieses Gesetz nur streng beachten, wenn man kraftsparende Maschinen entwerfen wollte. Dann konnte man Kräfte erhalten, mit denen sich selbst beladene Schiffe heben ließen.

Erregt lief Archimedes ins Haus und richtete einen Brief an König Hieron. Darin teilte er ihm seine Entdeckung mit. Er sei in der Lage, mit seiner Muskelkraft eine beliebig große Last zu bewegen.

Im Überschwang seiner Freude schrieb er: "Gib mir einen festen Punkt im All, auf dem ich stehen kann, und ich hebe den Erdball aus seinen Angeln."

Als Hieron das las, schüttelte er ungläubig den Kopf. Gewiss, der Gelehrte vollbrachte wahre Wunderdinge, wer wollte das anzweifeln? Aber diesmal hatte er gewiss übertrieben.

Was für eine kühne Behauptung, er könne mit seinen geringen Körperkräften jede beliebige Last fortbewegen!

Hieron ließ den Gelehrten zu sich rufen. Er verlangte einen Beweis. Archimedes zögerte keinen Augenblick; er war seiner Sache sicher.

An einem vereinbarten Tag begab sich der König mit seinem Gefolge zum Hafen. Archimedes wartete bereits am Ufer, und mitten auf dem Wasser schwamm ein dreimastiges Lastschiff, schwer beladen mit Gütern und Menschen. Archimedes sollte dieses Schiff ans Ufer ziehen.

Der Gelehrte hatte alles vorbereitet. Seiner Sache sicher stand er neben einigen in den Boden gerammten Pfählen, an denen die Rollen eines großen Flaschenzuges befestigt waren. Von den Rollen aus liefen viele starke Taue zu dem Schiff, an dessen Bug man ebenfalls Rollen angebracht hatte. Archimedes hielt ein Seilende in der Hand.

Auf ein Zeichen begann er an dem Seil zu ziehen. Allmählich strafften sich die Taue, und langsam, ohne das Gleichgewicht zu verlieren, glitt das Schiff dem Ufer zu. Archimedes zog ohne Hast und Anstrengung. Er leistete allein eine Arbeit, die sonst mehrere kräftige Männer nur mit Mühe vollbrachten. Während das Schiff sich allmählich näherte, häufte sich neben Archimedes das endlos erscheinende Seil!

Hieron blickte betroffen auf dieses Wunder. War Archimedes ein Zauberer?

Erregt trat er an den Gelehrten heran und nahm ihm das Tau aus der Hand. Er war verblüfft, wie leicht es sich ziehen ließ und wie gehorsam auch ihm das schwere Schiff folgte,

Dem König ging dieses Erlebnis tagelang nicht aus dem Kopf. Waren nicht diese Kräfte, die Archimedes in seinen Maschinen bereithielt, unheimlich, geradezu furchterregend? Um wieviel furchterregender mussten sie erst sein, wenn man sie nicht dazu benutzte, ein Schiff in friedlicher Absicht ans Ufer zu ziehen, sondern um es in den Grund zu bohren, falls es sich kriegerisch näherte! Welche Verwirrung musste es beim Feinde auslösen, wenn ihm Pfeile und Steingeschosse, wie vom Arm eines Riesen geschleudert, entgegenprasselten!

Mit solchen Waffen gerüstet, müsste Syrakus zu einer uneinnehmbaren Festung werden. Noch wurde die Stadt von keinem Feind bedroht. Aber eines Tages würde ihr Reichtum einen Eroberer anlocken, gleich ob Römer oder Karthager.

Sie würden den wichtigen Hafen besitzen wollen. Für diesen Fall musste die Stadt gerüstet sein. Und Archimedes war der rechte Mann, diese Waffen zu schmieden.

Der König teilte dem Gelehrten seine Sorgen mit.

Archimedes liebte Syrakus. Die Stadt war schön, ihre Bürger waren tüchtig und fleißig und - Syrakus war seine Heimat. Archimedes wusste, dass Rom und Karthago um

die Macht über das Mittelmeer kämpften und früher oder später seine Heimatstadt bedrohen würden. Ohne zu zögern versprach er dem König, die Verteidigung der Stadt vorzubereiten.

Wochenlang kletterte er auf der Stadtmauer herum. Er stieg in die Türme und prüfte das Mauerwerk. Er ließ die Stadttore befestigen, die Mauern verstärken und neue Türme aufrichten.

Gleichzeitig entwarf er Kriegsmaschinen. Es entstanden gewaltige Steinschleuder- und Pfeilgeschütze, die auf nahe und entfernte Ziele schießen konnten, und das mit großer Treffsicherheit. Archimedes fügte Hebel in das Mauerwerk, mit denen man die Sturmleitern des Angreifers umstoßen konnte.

An der Seeseite der Stadt ließ er schwere Balken mit fürchterlich geformten Eisenhörnern aufstellen, die hammergleich auf die angreifenden Schiffe niederkrachen und sie zerschmettern sollten. Und schließlich erfand Archimedes den vernichtenden Riesenkran mit dem Eisenschnabel, ein System von Hebeln, Flaschenzügen und Winden.

Archimedes verbarg ihn im Mauerwerk, so dass er von den Angreifern erst erkannt werden konnte, wenn sich die eisernen Klauen bereits bedrohlich auf das Schiff senkten und es für eine Flucht zu spät war.

Hieron kam oft, um zu sehen, wie die Arbeit voranging. Er ließ sich von Archimedes die Waffen erklären und erschauerte bei dem Gedanken, wie sie einen angreifenden Feind empfangen würden. Er blickte zuversichtlich in die Zukunft.

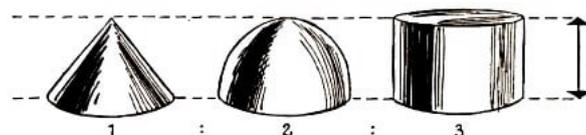
### 3.4 Ein Schiff läuft vom Stapel

Nachdem diese Arbeiten abgeschlossen waren, ging Archimedes wieder an seine mathematischen Forschungen. Mit Vorliebe löste er komplizierte Körperberechnungen. Dabei gelang ihm eine Leistung, auf die er sehr stolz war.

Er hatte sich aus Holz drei Körper anfertigen lassen, einen Kegel, eine Halbkugel und einen Zylinder. Diese Körper hatten etwas gemeinsam, sie besaßen gleiche Grundflächen und Höhen. Archimedes berechnete die Volumen dieser Körper und machte dabei eine sonderbare Entdeckung:

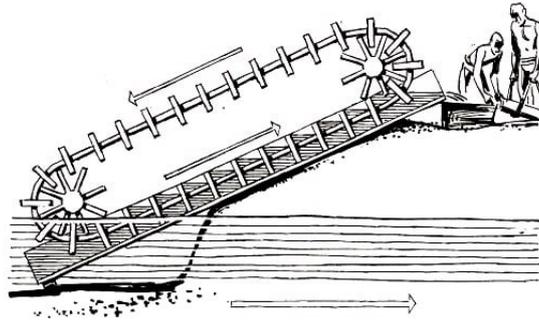
Die Halbkugel nahm doppelt so viel Raum wie der Kegel ein. Aber damit nicht genug, der Zylinder hatte sogar das dreifache Volumen des Kegels. Archimedes prüfte sofort nach, ob das ein Zufall war.

Er berechnete noch andere Kegel, Halbkugeln und Zylinder, große und kleine, aber stets von gleicher Basis und Höhe. Das Ergebnis blieb das gleiche, ihre Volumen verhielten sich wie 1:2:3.

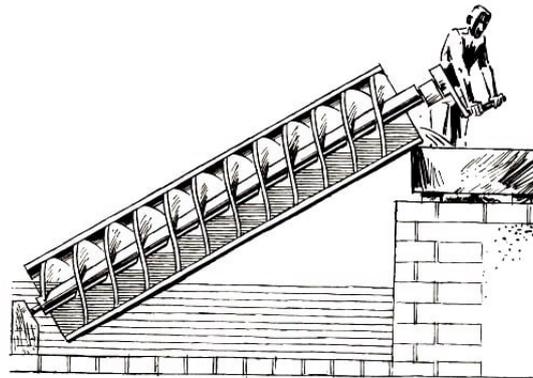


Folglich lag hier eine Gesetzmäßigkeit vor. Dem Gelehrten gelang es schließlich, dafür einen mathematischen Beweis aufzustellen.

Neben diesen Forschungen fand Archimedes noch Zeit, für die Syrakuser neue Mechanismen und Maschinen zu ersinnen. Einige seiner Erfindungen sind auch heute noch in Gebrauch. So erfand er die Wasserschnecke, eine Vorläuferin unserer Schiffsschraube.



Alte Wasserschöpfwerke, die zur Bewässerung der Felder dienten. Unten die von Archimedes entwickelte Wasserschnecke, auch "Archimedische Schraube" genannt



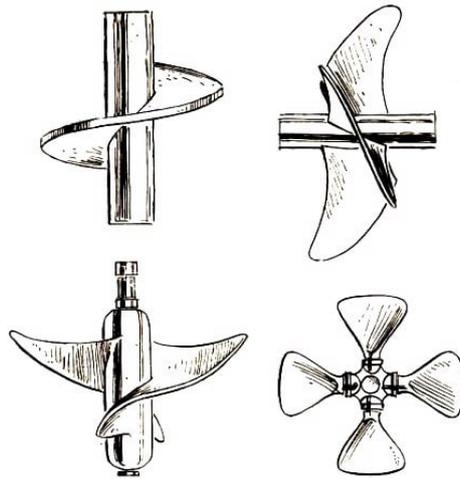
Damals diente sie dazu, Wasser nach einem höhergelegenen Ort fließen zu lassen. Archimedes entwickelte außerdem die Schraube ohne Ende und die Winde. Diese Maschinen sparten Kraft und erleichterten den Handwerkern die Arbeit. Die Schiffsbauer oder Maurer benutzten sie vorwiegend, wenn sie schwere Lasten bewegen oder heben mussten.

Es ist sehr aufschlussreich, wie Archimedes auf den Gedanken kam, die Winde zu konstruieren. König Hieron war mit dem König von Ägypten gut befreundet. Dieser Herrscher, er hieß Ptolomäus II., regierte in Alexandria, der gleichen Stadt, in der Archimedes lange Zeit studiert hatte.

Hieron wollte diese Freundschaft festigen, und er plante ein Geschenk, das des königlichen Freundes würdig sein musste.

Es sollte etwas ganz Besonderes, etwas Einmaliges sein, ein Geschenk, das überall Bewunderung erregen würde. Dem König schwebte ein großes Schiff vor, so kostbar ausgestattet und so stark bewaffnet wie kein zweites auf der Welt.

Hieron überlegte, wer ihm dieses Schiff würde bauen können. Es gab in Syrakus tüchtige Schiffsbauer, aber diese großartige Aufgabe erforderte auch einen außergewöhnlichen Mann mit großem technischem Wissen. Also konnte nur einer dafür in Frage kommen, und das war Archimedes.



Die Archimedische Schraube war die Vorstufe der modernen Schiffsschraube

Dem König fiel ein, dass der Gelehrte erst kürzlich eine neue Schrift verfasst hatte. "Über schwimmende Körper", so oder ähnlich lautete ihr Titel. In dieser Schrift sollten wichtige Lehrsätze stehen.

Archimedes hatte sie gefunden, als er das Geheimnis des Auftriebes entschleierte. Jemand, der so genau über das Schwimmen Bescheid wusste, würde auch ein ungewöhnliches Schiff entwerfen können.

Hieron gab dem Gelehrten noch einen fähigen Architekten zur Seite. Dieser sollte den künstlerischen Schmuck und die Innenausstattung entwerfen. Für alle technischen Fragen war Archimedes zuständig. Hieron ernannte ihn zum Vorsteher des Baues und übergab ihm damit eine große Verantwortung.

Archimedes stürzte sich mit Feuereifer in seine neue Aufgabe. Sicher, er musste mit vielen Schwierigkeiten rechnen, die bei diesem Schiffsbau auftreten würden. Aber er war es gewohnt, sich mit allen möglichen Problemen herumzuschlagen. Er kannte kein größeres Glück, als derartige Probleme zu lösen und Schwierigkeiten zu überwinden.

Um eines sorgte er sich dennoch ernstlich. Das Schiff musste auf einer Werft, also auf dem Trockenen gebaut werden. Wie würde er später den schweren Schiffskörper ins Wasser lassen können?

Derartig große Schiffe waren ja noch nie vom Stapel gelaufen. Er würde sich zu diesem Zweck eine neue Methode oder eine besondere Maschine ausdenken müssen.

Nun, das hatte noch Zeit. Zunächst gab es anderes, wichtigeres.

Es vergingen Wochen, in denen Archimedes nur plante und zeichnete. Immer wieder prüfte er seine Berechnungen, denn von ihnen hing es ab, ob das Schiff in seinem nassen Element die rechte Schwerpunktlage, den vorgesehenen Tiefgang und ein stabiles Gleichgewicht haben würde.

Dann wiederum eilte er zu Hieron, um sich mit ihm zu beraten. Er brauchte Material: Holz, Eisen, Blei, Stoffe; und er brauchte Arbeiter, viele Arbeiter. Hieron sah hier keine Schwierigkeiten. Er war unbeschränkter Herrscher von Syrakus; er konnte die Handwerker und Sklaven zu dieser Arbeit zwingen.

Während Archimedes noch an den Bauplänen zeichnete, ließ er bereits Holz fällen und heranbringen, und zwar in solchen Mengen, dass man daraus 60 Trieren hätte bauen können, also 40 Meter lange, wendige Kriegsschiffe mit drei übereinanderliegenden Ruderreihen. Als Archimedes sah, wie das Bauholz neben der Werft zu unzähligen hohen Stapeln wuchs und er die Materialmenge abschätzte, da beschlichen ihn leise Zweifel.

Er dachte an den Stapellauf. Würde es ihm später gelingen, diese Holzmassen, zu einem einzigen Schiffskörper vereint, auf einmal zu bewegen?

Unsinn, an dieser Kleinigkeit scheitern, hieße sich selbst zum Lügner, zum Aufschneider machen. Immerhin war es aber ratsam, den Schiffsrumpf bereits ins Wasser zu bringen, sowie er schwimmfähig war, Der weitere Ausbau konnte danach stattfinden.



Archimedes stellte 300 Zimmerleute ein; dazu kamen noch viele Sklaven, die den Zimmerern zur Hand gehen mussten. Er beschäftigte fast alle Schmiede der Stadt, außerdem viele Holzschnitzer, Maler, Tischler, Gärtner und Segelmacher.

In ganz Syrakus sprach man von nichts anderem als von diesem Wunderschiff, das den stolzen Namen "Syrakusia" tragen sollte.

Die reichen Bürger prahlten stolz von diesem Reichtum, die Armen aber murrten über die Verschwendung, die auch sie bezahlen mussten. Neugierige strömten zur Werft, um einen Blick auf den riesigen Schiffsrumpf zu werfen, der da auf Kiel lag und mächtig in die Höhe und Länge wuchs.

Die Arbeiter berichteten Wunderdinge über dieses Schiff. 20 Ruderreihen sollten es pfeilschnell über die Wellen tragen. Drei Stockwerke wurden eingebaut, mit großen La-

gerräumen, 30 Wohnungen und vielen kostbar ausgeschmückten Sälen.

Der Architekt hatte sich feinste Mosaikfußböden und künstlerische Schnitzereien ausgedacht, an denen die Künstler bereits arbeiteten. Die Reisenden würden an Bord eine Bibliothek vorfinden, einen Gymnastiksaal und mehrere Bäder.

Ja, sie konnten sogar durch Gärten und Laubengänge spazierengehen. Man wollte Reben und weißen Efeu in Töpfe setzen und außerdem den Boden mit Bleiplatten belegen, Erde darauf schütten und seltene Gewächse anpflanzen. Aber damit nicht genug.

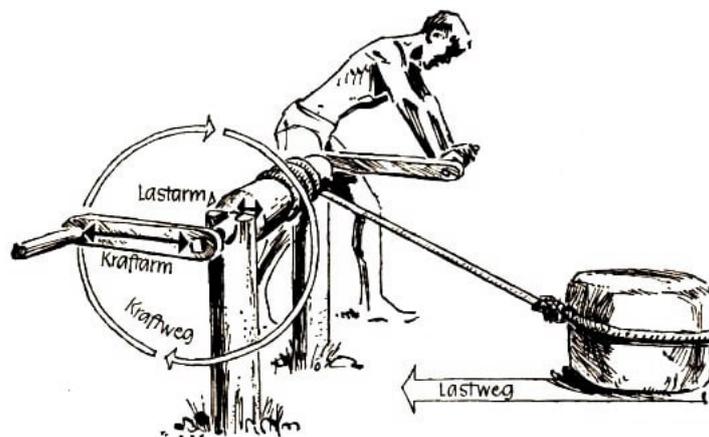
Auf dem Schiff mussten 20 Pferdeställe eingerichtet werden, und es musste Platz bieten für das Futter der Tiere, aber auch für die Kabinen der Reiter, der Pferdejungen und der bewaffneten Krieger. Denn an Deck sollten acht gepanzerte Türme aufragen, besetzt von Bogenschützen und bestückt mit Pfeilkatapulten.

Die übrige Bewaffnung war an der Reling verteilt; schwere Steingeschütze, die Archimedes entworfen hatte. Auch sie wurden bereits gebaut, einige sogar schon von den Waffenmeistern erprobt und bestaunt.

Diese Geschütze schleuderten Geschosse von vier Talenten<sup>9</sup> Gewicht ein Stadion<sup>10</sup> weit und verfehlten selten ihr Ziel.

Inzwischen hockte Archimedes an seinem Studiertisch und grübelte über seiner Maschine für den Stapellauf. Es war klar, das Schiff musste ins Wasser gezogen werden. Er dachte dabei an ein starkes Seil, das er auf eine Welle spulen konnte. Diese Seilwelle musste gedreht werden, und zwar mit menschlicher Kraft. Aber damit diese kleine Kraft ausreichte, das Schiff zu bewegen, musste sie einen langen Kraftweg zurücklegen.

Wie war das zu erreichen?



Vergleich von Kraftweg und Lastweg an einer Winde

Man konnte einen langen Hebel an der Welle befestigen, einen Hebel mit einem Griff, so dass eine Kurbel entstand. Diese Kurbel konnte man drehen, und die Welle drehte sich mit. So sparte man bereits etwas Kraft.

Je mehr man den Kurbelarm verlängerte, desto größer wurde der Kraftweg und damit auch die Kraftersparnis. Aber unendlich lang durfte die Kurbel auch nicht sein, man musste sie ja bequem fassen und drehen können. Andererseits konnte man mit dieser

---

<sup>9</sup>4 Talente = 144 Kilopond

<sup>10</sup>1 Stadion = 185 Meter

Kurbel allein das Schiff niemals von der Stelle bekommen.

Archimedes strich sich durch den Bart. Was musste er finden?

Etwas, was den Kraftweg weit mehr verlängern half. Vielleicht einen Mechanismus, den er zwischen Kurbel und Seilwelle einsetzen konnte. Dieser Mechanismus musste drehbar sein, also eine Art Kraftübertragung mit Hilfe von Rädern.

Archimedes erhob sich. Heute würde er das Problem nicht mehr lösen können. Besser, er machte sich auf den Weg zur Werft.

Auf der Werft empfing ihn emsiges Treiben. Es war sechs Monate her, seit die Zimmerleute das Schiff auf Kiel gelegt hatten. Während dieser Zeit war tüchtig gearbeitet worden, das sah man. Der Schiffsrumpf war bereits fertiggestellt, und jetzt waren die Zimmerleute dabei, die Zwischendecks anzulegen.

An den äußeren Bordwänden lehnten hohe Leitern, auf denen die Zimmerleute standen und den ganzen Rumpf mit dünnen Bleiplatten beschlugen. Die Platten wurden mit Flaschenzügen emporgewunden; die Zimmerleute brauchten sie nur aufs Holz zu nageln. Diese Verkleidung konnte nicht rosten und umgab das Schiff mit einem festen Panzer.

Allerdings wurde es dadurch wesentlich schwerer. Aber sinken konnte es dennoch nicht, denn Archimedes hatte alles genau berechnet. Er hatte dem Schiff ein genügend großes Volumen gegeben, so dass es viel Wasser verdrängte und dadurch einen starken Auftrieb erhielt.

Der Gelehrte schritt die ganze Länge des Schiffes ab. Dicht unter dem Bug blieb er stehen und musterte den reich verzierten Bugspriet. Er musste seinen Kopf dabei weit in den Nacken zurücklegen, denn wie ein Turm ragte die Schiffswand vor ihm auf. Wie klein und schwach nahm er sich dagegen aus! Ein Zwerg gegenüber einem Riesen. Und dieser Zwerg wollte den Riesen bezwingen.

Sofort musste Archimedes wieder an den Mechanismus denken, den er dringend für seine Maschine brauchte. Sinnend schritt er seinem Hause zu.

Unterwegs begegnete er einigen Fuhrwerken, die zur Werft rollten. Es waren hölzerne Lastwagen, vierrädrig, mit einem mannshohen Räderpaar hinten, kleineren Rädern vorn, und von Eselsgespannen gezogen.

Archimedes hielt den Zug an und wechselte mit dem Aufseher einige Worte. Er betrachtete die Ladung: feinstes Zypressen- und Zitronenholz, dazu bestimmt, die Decken und Wände der Schiffsräume zu schmücken.

Die Esel zogen wieder an, Archimedes sah den davonfahrenden Wagen nach, und plötzlich war ihm, als habe er vorhin etwas Wichtiges an diesem Wagen gesehen, aber keine Zeit gehabt, dem nachzugehen. Das Gespräch mit dem Fuhrmann hatte ihn davon abgelenkt. Er lief den Fuhrwerken nach und schritt neben ihnen her. Aber da war gar nichts Besonderes. Es waren alltägliche Wagen, denen man auf Schritt und Tritt begegnete, roh zusammengefügt, mit vier Rädern.

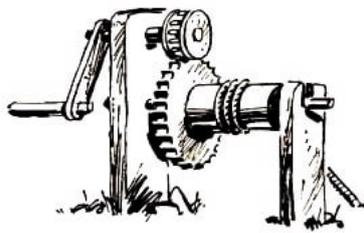
Die Räder! Das war es. Sie waren verschieden groß, im Durchmesser und Umfang. Und wenn der Wagen rollte, dann drehten sich die kleinen Räder schneller als die großen.

Archimedes versuchte, die Drehungen zu zählen.

Ja, während sich das große Rad nur einmal drehte, vollführte das kleine gleich zwei-einhalb Umdrehungen. Das war nur natürlich, denn das große Rad mit seinem großen Umfang musste bei jeder Drehung einen größeren Weg zurücklegen als das kleinere. Doch hierin lag das Prinzip, nach dem er seine Maschine bauen musste. Er brauchte einfach verschieden große Räder.

Sie ergaben den Mechanismus, den er suchte: ein Rädervorgelege.

Es musste die Kraft von der Kurbel auf die Seilwelle übertragen und dabei den Kraftweg verlängern helfen. Aber die Räder mussten ineinandergreifen können, also musste er Zahnräder benutzen.



Winde mit Zahnrädervorgelege

Archimedes ging nicht sofort nach Hause, sondern bestellte zuvor bei einem Tischler ein halbes Dutzend hölzerner Räder, große und kleine; das kleinste nur handtellergroß, und das größte sollte ihm bis an die Brust reichen.

Er zeichnete dem Handwerker genau auf, wie die Zähne beschaffen sein müssten. Er hatte sich entschieden, von seiner Maschine zunächst ein Holzmodell anzufertigen. Erst wenn der Mechanismus gut funktionieren würde, könnte ein Schmied die Zahnräder aus hartem Eisen schmieden.

Zu Hause angekommen, entwarf er eine erste Zeichnung. Er konnte sich bereits vorstellen, wie die Maschine aussehen würde. Ein großes Zahnrad musste stramm auf die Seilwelle gezogen werden, so dass Welle und Rad wie aus einem Guss zusammenhielten. Ebenso fest musste ein kleines Zahnrad mit der Kurbel verbunden sein. Dann war das Ganze so anzuordnen, dass die Zahnräder ineinandergriffen.

Zufrieden betrachtete Archimedes seine Zeichnung.

"Wenn man nun die Kurbel dreht", sagte er, "dann geht das kleine Zahnrad mit. Dabei treibt es das große Rad an und damit auch die Welle. Und die spult das Seil auf. Aber die Welle dreht sich langsam.

Viel langsamer als die Kurbel. Sagen wir, das kleine Zahnrad habe 30 Zähne, nein, noch weniger, nur 15. Das große dagegen 150. Dreht sich dann die Kurbel mit dem kleinen Rad einmal, so laufen 15 Zähne gegeneinander ab. Das heißt, dass das große Zahnrad dabei nur eine zehntel Umdrehung vollführt.

Man muss also die Kurbel zehnmal drehen, ehe die Seilwelle eine Drehung vollendet hat. Der Kraftweg ist zehnmal länger, und folglich braucht man nur den zehnten Teil der Kraft. Das ist eine große Kraftersparnis!

Was aber, wenn sie nicht ausreicht?"

Archimedes schritt auf und ab.

"Nichts einfacher als das", setzte er sein Selbstgespräch fort, "dann setze ich noch ein zweites Räderpaar ein, meinetwegen mit dem gleichen Übersetzungsverhältnis von 1:10. Das erste Rädervorgelege spart Kraft; ich brauche nur den zehnten Teil aufzuwenden. Dieses Zehntel dreht das zweite Räderpaar. Und das spart noch einmal den gleichen Betrag. Insgesamt brauche ich dann nur noch  $\frac{1}{100}$  der Kraft aufzubringen. Allerdings müsste die Kurbel 100mal gedreht werden, ehe die Welle eine Drehung macht, aber das soll mir recht sein."

Er nickte zufrieden. So eine Zahnradübersetzung ließe sich bauen. Außerdem kam ja noch die Kurbel hinzu. Ihre Hebelwirkung sparte einen weiteren Kraftbetrag. Mit dieser Winde konnte er es schaffen!

Schon am übernächsten Nachmittag lieferte der Tischler die bestellten Zahnräder. Archimedes brachte alles Notwendige in den Garten. Der Tischler, der neugierig dablief, half ihm dabei. Aus Balken und Rundhölzern setzten sie die Maschine zusammen.

"Wenn die Frage erlaubt ist", räusperte sich der Handwerker, "was für ein Wunderding wird das wieder?"

"Eine Winde", antwortete Archimedes einsilbig, ganz in die Arbeit vertieft.

Er entschloss sich, sofort ein doppeltes Rädervorgelege einzusetzen. Längere Zeit musste er probieren, bis es ihm endlich gelungen war, die vier Zahnräder am günstigsten anzuordnen. Er bat den Tischler, die Kurbel zu drehen, und prüfte aufmerksam den Lauf der Zahnräder.

Die Räder drehten sich verschieden schnell, das letzte am langsamsten. Als er in das erwartungsvolle Gesicht des Handwerkers sah, musste er lächeln.

"Wir wollen die Winde gleich ausprobieren", sagte er und sah sich im Garten um. "Der Stein dort ist gerade richtig. Knüpfe ein Seil um diesen Brocken, und dann wollen wir ihn hierherziehen!"

"Hierherziehen?" Der Tischler schüttelte verwundert den Kopf, tat aber, was Archimedes befohlen hatte. Dann versuchte er mit größter Anstrengung, den mehrere Fuß hohen Stein fortzuziehen.

"Ich schaff's nicht", stöhnte er, "du musst mir helfen!"

Archimedes war dabei, die Winde fest in den Erdboden zu verankern.

"Komm nur her mit dem Seil!" rief er. "Siehst du das Bohrloch in der Seilwelle? Führe das Seil da hindurch und verknote es fest!" Als das geschehen war, drehte Archimedes die Kurbel. Langsam spulte sich das Seil auf, bis es sich straff in der Luft spannte.

"Jetzt stell dich neben den Stein und gib acht, ob er von der Stelle rückt!" befahl Archimedes und drehte weiter an der Kurbel. Er hörte die erstaunten Rufe des Tischlers.

"Beim Olymp, der Stein bewegt sich! Ganz langsam zwar, fast unmerklich, aber er bewegt sich. Wie hast du das gemacht, Archimedes?" Er kam gelaufen und ergriff die Kurbel.

"Wie kinderleicht das geht!" rief er begeistert, "dass ist ein Ding, das man gebrauchen kann. Nicht nur zum Steineziehen. Weißt du wozu noch, Archimedes?"

Zum Hochheben. Mit deiner Winde kann man ja wer weiß was für Gewichte heben,

beim Häuserbauen etwa, oder draußen auf der Werft!"

Er ging um den Stein herum, umspannte ihn mit beiden Armen und versuchte ihn zu rütteln, aber der Stein rührte sich nicht.

"Sage mir, wieviel Kraft spart deine Maschine?" fragte er kopfschüttelnd.

"Wenn du so weitermachst, brauchen wir bald gar nicht mehr zu arbeiten. Deine Maschine macht das von allein."

"Da irrst du dich", erwiderte Archimedes lächelnd, "du musst genausoviel arbeiten wie ohne diese Maschine. Genaugenommen sogar noch mehr."

"Noch mehr?" Der Tischler wunderte sich. "Wenn du's nicht wärst, der das sagt, ich würde glauben, man wollte mich zum besten haben."

"Ich will's dir beweisen", versprach Archimedes. "Aber eins nach dem andern. Zuerst wollen wir den Kraftweg mit dem Lastweg vergleichen. Dann kann ich nämlich die Krafterparnis abschätzen."

"Kraftweg? Lastweg? Was soll das sein?"

"Du wirst es sofort verstehen! Du hast deine Hand dort am Kurbelgriff. Wenn du die Kurbel drehst, dann beschreibt deine Hand viele Kreisbogen. Das ist der Kraftweg. Und währenddessen zieht die Winde den Stein ein Stück über den Erdboden. Diese Strecke ist der Lastweg."

Der Tischler nickte. "Das verstehe ich. Aber der Kraftweg ist doch dann größer, habe ich recht?"

"Viel größer", gab Archimedes zu. Er hatte sich schon vor dem Stein niedergehockt und steckte eine drei Fuß lange Strecke ab. Dann drehte er die Kurbel, und beide sahen zu, wie die Winde die Last heranzog. Gleichzeitig zählten sie die Drehungen der Kurbel. Als der Stein die Markierung erreicht hatte, hielt Archimedes inne.

"Zweiundsechzigmal hast du gedreht!" sagte der Tischler.

"Du hast dich nicht verzählt."

"Was nun weiter?" wollte der Handwerker wissen.

"Den Lastweg kennen wir, er beträgt drei Fuß. Aber den Kraftweg müssen wir noch berechnen."

Der Tischler kratzte sich am Kopf. "Der hängt irgendwie mit den Kreisbögen zusammen, nicht wahr?"

"Vollkommen richtig", bestätigte der Gelehrte. "Sieh her! Ich drehe jetzt die Kurbel, und meine Hand beschreibt dabei einen Kreis. Dieser Kreis hängt ganz von der Kurbel ab. Ist die Kurbel sehr lang, dann entsteht auch ein weiter Kreisbogen. Die Kurbellänge ist gleichzeitig sein Radius."

Der Tischler verfolgte mit aufmerksamen Augen die Hand des Gelehrten, die langsam die Kurbel bewegte.

"Wenn ich lange genug hinschaue", erklärte er schließlich, "dann sehe ich den Kreis deutlich vor mir. Und jetzt willst du den Umfang dieses Kreises berechnen. Habe ich recht, Archimedes? Ich habe gehört, dass du so etwas berechnen kannst."

"Nun ja", gab Archimedes zu, "ich habe das Gesetz dafür errechnet." Er schrieb einige

Zahlen in den Sand und rechnete. "Siehst du? Der Umfang beträgt 144 Fuß. Ich habe die Kurbel 62mal gedreht, mithin ist der Kraftweg 62 mal 143 Fuß lang, also fast 900 Fuß."

"Das ist ja der dreihundertfache Weg", rief der Tischler verblüfft, "ich glaube, ich verstehe jetzt. Deshalb also spart man keine Arbeit."

"Eben", erwiderte Archimedes, "Kraft und Arbeit sind zwei verschiedene Dinge. Mit dieser Winde sparen wir nur Kraft, sogar viel Kraft. Um den Stein fortzuschleifen, brauchen wir nur den dreihundertsten Teil der Kraft aufzubringen, die wir ohne die Winde benötigen würden. Aber dafür haben wir einen dreihundertfachen Kraftweg zurückzulegen, und so bleibt die Arbeit die gleiche."

Man sah dem Tischler an, dass er noch einige Zweifel hatte.

"Sagtest du nicht vorhin, mit der Maschine sei die Arbeit sogar noch größer? Das begreife ich nicht."

Wortlos löste Archimedes das Seil von dem Stein. Dann forderte er den Tischler auf, die Kurbel zu drehen.

"Nun, brauchst du jetzt auch Kraft dazu?" fragte er.

"Ja, sicher. Aber ich verstehe dich nicht. Das ist doch klar, dass ich dazu Kraft brauche."

"Dann sage mir genau, wofür du die Kraft aufbringen musst!" forderte Archimedes.

Der Tischler runzelte die Stirn und betrachtete das Räderwerk. Plötzlich erhellte sich sein Gesicht.

"Die Räder bieten einen Widerstand", rief er. "Hier an den Achsen und da, wo die Zähne ineinandergreifen."

"Richtig", erwiderte Archimedes, "an diesen Stellen tritt eine Reibung auf. Wenn du sie überwinden willst, brauchst du Kraft. Deshalb musst du an der Maschine mehr Arbeit verrichten, als sie dir abgibt. Aber weil du im ganzen gesehen viel Kraft sparst, nimmst du die Reibung ebenso gern in Kauf wie den langen Kraftweg."

Während ihres eifrigen Gesprächs hatten sie nicht bemerkt, dass die Bäume bereits lange Schatten warfen. Plötzlich sah der Tischler erschrocken nach der Sonne: "Wo ist die Zeit geblieben? Ich muss mich sputen!" Er bedankte sich bei Archimedes und eilte davon.

Archimedes betrachtete noch einmal sein Werk. Morgen konnte er es dem Schmied übergeben. Und war der Mechanismus erst einmal aus Eisen gefertigt und gut gefettet, dann würde auch die Reibung bedeutend kleiner sein. Sie würde dann kaum noch ins Gewicht fallen.

Mit einem zufriedenen Gefühl in der Brust betrat der Gelehrte sein Haus.

Am Tage des Stapellaufes war dann ganz Syrakus in Aufregung. Die Einwohner eilten zur Werft, und bald drängte sich an den Ufern eine dichte Menschenmenge. Alle wollten sie das stolze Schiff bestaunen. Noch lag es, weithin sichtbar, flaggengeschmückt auf dem Trockenen. Aber dann kam der Schiffsrumpf in Bewegung und glitt immer schneller werdend in das aufschäumende Wasser.

Bald sprach sich herum, dass Archimedes mit eigener Hand dieses Wunder vollbracht

hatte.

Das Schiff wurde vertäut, und nun richtete man es endgültig her. Dieser Ausbau dauerte noch einmal sechs Monate. Dann endlich segelte das Schiff ab. Es hatte außer den Kunstschatzen und Soldaten noch 60000 Maß Getreide, 10000 Fässer gesalzenes Fleisch und 20000 Zentner Wolle geladen, alles Geschenke für Hierons Freund Ptolemäus II.

Die Armen unter den Zuschauern sahen dem Schiff verbittert nach. Mit einem Bruchteil des Reichtums, der dort davonschwamm, hätten sie ein zufriedenes Leben führen können. So hofften sie wenigstens, dass dieses Geschenk dazu beitragen möge, ihrer Stadt den Frieden zu erhalten.

Aber diese Hoffnungen auf Frieden wurden enttäuscht. Im Jahre 215 vor unserer Zeitrechnung starb König Hieron. Zwei Jahre später tauchten am Horizont unzählige Segel auf, jene römische Kriegsflotte des Feldherrn Marcellus.

Die Wachen schlugen Alarm. Die Bürger bewaffneten sich, verschanzten die Tore und stürmten auf die Stadtmauern. Als sie die römische Übermacht erblickten, wurden sie mutlos. Diesen Feind konnten sie in offener Feldschlacht niemals besiegen. Es gab nur eine Hoffnung!

Sie mussten auf die Kriegsmaschinen vertrauen, die Archimedes schon vor Jahren gebaut hatte. Von ihnen allein hing jetzt das Leben ihrer Frauen und Kinder und die Freiheit ihrer Stadt ab.

Aber wenn der Gelehrte sich geirrt hatte? Wenn seine Maschinen versagten? Die Bürger umdrängten Archimedes. Der Dreiundsiebzigjährige war als einer der ersten auf die Mauer geeilt. Ohne Erregung sah er aufs Meer.

Die Schiffe waren noch weit entfernt. Es blieb noch einige Zeit; ein halber, vielleicht sogar ein ganzer Tag. Diese Zeit musste genutzt werden.

Ruhig und bestimmt ordnete der greise Gelehrte an, alle Waffen genauestens zu überprüfen und bereitzuhalten. Dann rief er die Geschützmeister zusammen und frischte ihre Waffenkenntnisse auf.

An einem der nächsten Tage griffen die Römer an, gleichzeitig von See her und auf dem Lande. Archimedes stand auf der Seemauer neben einem schweren Steingeschütz. Er hatte ein Messgerät vor sich aufgestellt und peilte die näherkommende Flotte an. Dann rief er den Geschützmeistern die genauen Entfernungen zu, und schon sausten die Geschosse davon.

Einige platschten ins Wasser, aber die meisten krachten in die feindlichen Schiffe, zerrissen die Decks, zerbrachen Maste oder zersplitterten die Ruder. Man hörte das Schreien von Soldaten, die von den wuchtigen Geschossen ins Meer gefegt worden waren.

Einige Schiffe konnten den Sperrgürtel der Geschosse durchbrechen. Nun ließ Archimedes die gehörnten Balken und die Eisenschnäbel einsetzen.

Mit Schaudern verfolgten die Syrakuser das tödliche Schauspiel.

Dann brachte ein Bote die Nachricht, dass man auch die römischen Landtruppen in

die Flucht geschlagen habe. Die Syrakuser atmeten auf. Standen ihnen auch schwere Zeiten bevor, so waren sie den Römern doch nicht wehrlos ausgeliefert.

Archimedes rechnete mit einer langen Belagerung. Die alten Kriegsmaschinen mussten verbessert und neuartige Waffen in Eile entworfen werden. Der Gelehrte arbeitete unermüdlich mit der Kraft eines Jünglings, und sein Schwung riss die Syrakuser mit. Aus allen Werkstätten klang Hämmern, Sägen und Schmieden. Wieder arbeitete die ganze Stadt nach Plänen des Archimedes, diesmal um Leben oder Tod.

### 3.5 „Störe meine Kreise nicht!“

Der römische Feldherr Marcellus stand mit seinen Offizieren auf einem Hügel nahe der belagerten Stadt, aber dennoch in sicherer Entfernung vor den Geschossen des Archimedes. Grimmig blickte er zu den Stadtmauern hinüber.

Zwei Jahre schon lag er mit seinen Soldaten hier, blockierte die Wege und den Hafen, aber es war nicht abzusehen, wie lange er diese Schande noch hinnehmen musste.

Vor einigen Tagen hatte er wiederum einen Angriff befohlen und zusehen müssen, wie seine Soldaten schreiend die Flucht ergriffen. Warum?

Weil irgendein Seil oder eine Latte rein zufällig von der Stadtmauer herabhing. Die Soldaten hatten geglaubt, dahinter stecke wieder eine Teufelei; eine derart panische Angst hatten sie vor den Syrakuser Kriegsmaschinen.

Konnte man mit solchen Soldaten überhaupt noch kämpfen?

Marcellus war sich darüber klar, dass er eigentlich nur gegen Archimedes Krieg führte.

"Dieser Geometer kämpft wie ein hundertarmiges Ungeheuer", knirschte er. "Er hebt unsere Schiffe aus dem Wasser! Schleudert Felsen nach uns!"

Dennoch empfand der Feldherr, ob er wollte oder nicht, Hochachtung vor dem Gelehrten.

"Dieser Mathematiker ist mit Gold nicht aufzuwiegen", sagte er zu seinen Begleitern.

"Wenn wir nach Syrakus kommen, und früher oder später werden wir es, darf ihm kein Haar gekrümmt werden! Ein toter Archimedes kann uns gar nichts nützen."

Marcellus ging tagelang mit düsterem Gesicht umher. In seinem Kopf reifte ein Plan. War Syrakus nicht im offenen Kampf zu bezwingen, trotzte es der Belagerung und der Blockade, dann musste er eben eine List finden. Er würde die Syrakuser überrumpeln, wenn sie am allerwenigsten an einen Angriff dachten.

Zunächst verbot er seinen Soldaten, sich der Stadt zu nähern, und untersagte jede kriegerische Handlung. Sollten sich die Syrakuser nur in Sicherheit wiegen, um so sorgloser würden sie mit der Zeit werden.

Dann wartete Marcellus mit Ungeduld auf den Jahrestag der Göttin Artemis. Er wusste, dass die Syrakuser dieses Ereignis stets feierten. Es gab ein Volksfest, Belustigungen, Trinkgelage. Der Wein, sofern die Belagerten noch genügend davon besäßen, würde in Strömen fließen.

Als das Fest herangekommen war, wartete Marcellus noch die Nacht ab.



Dann schickte er eine Kohorte aus, die sich im Dunkeln an die Stadt heranschlich. Unbemerkt gelangten die Römer an ein abgelegenes Tor. Sie überrumpelten die Wachen, die sich dem Trunke ergeben hatten. Dann hielten sie das Tor besetzt, drangen aber nicht weiter vor. Aus der Stadt schallte noch das Lachen und Singen der Trunkenen, und erst später wurde es still.

Mit dem ersten Hahnenschrei drang Marcellus an der Spitze seines Heeres in die Stadt ein. Die überraschten Syrakuser griffen ernüchert zu ihren Schwertern, aber durch das offene Tor quollen die Römer in solchen Massen, dass jeder Widerstand sinnlos wurde.

Die römischen Soldaten, voller Wut und Zorn auf die Syrakuser, schwärmten mit blanken Schwertern durch die Stadt. Sie polterten fluchend in die Häuser, plünderten und mordeten und rächten so ihre Niederlagen. Marcellus sah, wie seine Legionäre wüteten, und erschrak plötzlich.

"Archimedes!" schrie er seine Unterführer an. "Bringt mir Archimedes in Sicherheit!"

Währenddessen hetzte ein Legionär, das blanke Schwert in der Faust, durch die Gärten und machte nieder, was sich ihm in den Weg stellte. Er sprang über eine Hecke und sah sich keuchend um. Verblüfft gewahrte er einen alten Mann, der dort gedankenversunken im Garten saß und auf einer sandbestreuten Tafel rätselhafte Kreise und Linien zog. Was brütete der da aus? Stand dieser Mensch mit Pluto im Bunde?

Der Soldat stürzte näher, sah den bärtigen Alten unwillig aufblicken und schützend die Hände über die Tafel breiten. Dabei schimpfte er auf den Soldaten: Er solle gefälligst aufpassen, dass er die Kreise nicht zerstöre.

In aufflammendem Zorn hob der Soldat sein Schwert und stach es dem Alten durch die Brust.

Die Tafel glitt dem Sterbenden aus den Händen. Die Sandkörner rieselten durcheinander, bis alle Kreise und Linien verschüttet waren.

Archimedes war tot. Ein wütender Schwertstreich hatte sein Leben ausgelöscht. Doch

erwies sich das Schwert stärker als der Geist? Triumphierte Gewalt über die Vernunft?

Heute, nach 2000 Jahren, spricht niemand mehr vom Feldherrn Marcellus. Vom Mörder des Archimedes kennen wir nicht einmal den Namen.

Aber an allen Schulen der Welt werden heute und in der Zukunft die Lehrsätze des großen Griechen gelehrt. Die Naturgesetze, die Archimedes fand, sind unvergänglich wie die Natur selbst.

## 4 Kindertage eines Riesen

### 4.1 Der erste Kran

Schon im frühesten Altertum mussten schwere Lasten gehoben werden, wenn Häuser, Tempel, Türme, Burgen und Paläste gebaut werden sollten.

Die Techniker des Altertums mussten einen regelrechten Kampf gegen die Schwerkraft führen. Es war ein siegreicher Kampf, denn mit schiefen Ebenen und einfachen Hebeln vollbrachten sie wahre Wunderdinge.

Doch schiefe Ebene und Hebel sind noch keine Hebemaschinen. Mit einem Hebel kann man auch ein Schloss verschließen, und auf einer schiefen Ebene kann man eine Last zwar in die Höhe befördern, muss sie aber gleichzeitig auch über eine bestimmte Entfernung bewegen.

Die Ägypter konnten, als sie die Pyramiden bauten, große Steinrampen in der Wüste aufschütten. Dort waren sie niemandem im Wege. Aber wenn man damit in der Stadt einen Turm hätte errichten wollen, dann hätte man vorher einige Häuser einreißen müssen, nur um Platz für die ungefüge, schwerfällige Baurampe zu haben.

Flaschenzüge und Winden, wie sie die Griechen einsetzten, waren dagegen schon recht komplizierte Gebilde. Sie nahmen nur wenig Raum ein und ließen sich leicht von einer Baustelle zur anderen transportieren. Aber auch diese Maschinen hoben nicht ausschließlich irgendwelche Lasten.

Man konnte mit ihnen Baumstämme oder Steine über den Erdboden schleifen, oder, wie es Archimedes tat, Schiffe ans Land ziehen.

Die Winde, die Archimedes entwarf, entstand aus dem Bedürfnis, viel Kraft zu sparen. Allen Erfindungen liegen Bedürfnisse der Menschen zugrunde.

Plötzlich stehen die Menschen vor einer technischen Schwierigkeit, vor einer ganz neuen Aufgabe, die sie mit den vorhandenen Kräften und Maschinen noch nicht bewältigen können. Aber die Zeit drängt.

Immer notwendiger wird es, bessere Maschinen zu ersinnen.

Solange die Menschen in Höhlen und kleinen Hütten lebten, sich von der Jagd und den Pflanzen, die sie sammelten, ernährten, brauchten sie auch keine Hebemaschinen.

Aber viel, viel später bauten sie Pyramiden und Paläste, und je weiter die Zeit vorwärts schritt, desto größer wurden die Städte und desto komplizierter die Bauten. So mussten früher oder später auch solche Maschinen entstehen, die eine einzige Aufgabe zu erfüllen hatten, nämlich, die schweren Lasten zu heben. Mit der Erfindung des Flaschenzuges und der Winde hatten die Menschen bereits die ersten Schritte dazu getan.

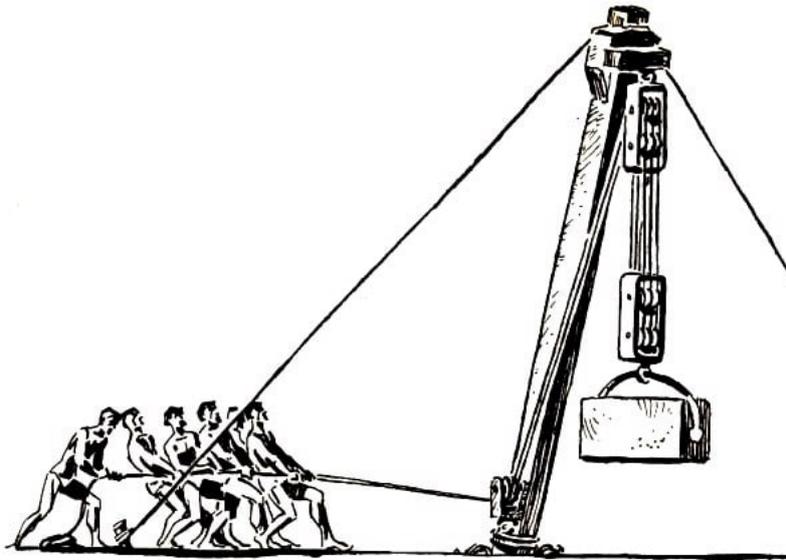
Schließlich kamen die Menschen auf einen entscheidenden Gedanken. Sie fällten einen hohen Baum und zimmerten aus dem Stamm einen kräftigen Mast. Sie ramnten ihn in den Erdboden, aber nicht senkrecht, sondern etwas schräg geneigt.

Damit der Holzmast nicht umstürzen konnte, schlangen sie mehrere Taue um die Mastspitze und verankerten sie mit Holzpflocken in der Erde. Weiterhin befestigten sie an der Spitze des Mastes einen Flaschenzug, der aus mehreren Seilsträngen und Rollen

bestand.

Den schweren Baustein, den sie zu heben gedachten, schleiften sie unter den Flaschenzug und knüpften ihn daran fest. Mehrere Sklaven ergriffen das freie Seilende des Flaschenzuges, und von ihrer Körperkraft gezogen, schwebte der Stein senkrecht nach oben.

War dann die Bauarbeit beendet, konnte man den Flaschenzug abhaken und den Mast an einem beliebigen Ort wiederum aufstellen. Diese Maschine sparte Kraft, ließ sich schnell auf- und abbauen und ebenso einfach transportieren.



Altgriechischer Baukran mit Flaschenzug

Wir kennen den Mann nicht, der diese Seilmaschine zum ersten Male aufstellte. Wir wissen weder, ob er in Alexandria, Athen oder Korinth gelebt hat, noch, ob er als Gelehrter, als Baumeister oder als Handwerker arbeitete. Vielleicht kamen auch mehrere Männer auf diesen genialen Einfall, und das, als sie miteinander berieten, wie sie einen besonders großen Steinblock in die Höhe befördern könnten. Ziemlich sicher ist nur, dass es Griechen waren, und fest steht, dass sie den Flaschenzug bereits kannten.

Demnach wurde diese für die Hebeteknik so wichtige Erfindung schon vor über 2000 Jahren gemacht. Das war die Geburtsstunde der Hebemmaschinen: Der Kran war erfunden worden.

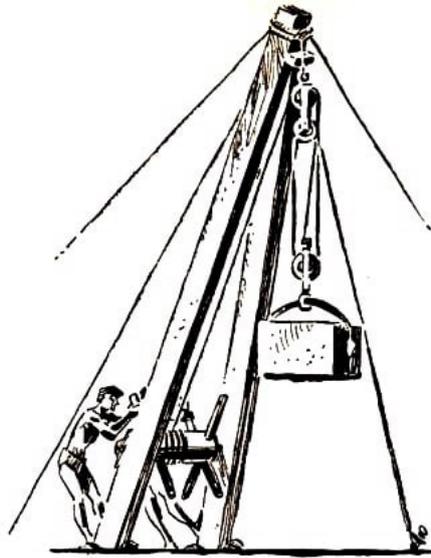
Dieser erste Kran zeigte Mängel. Hing an seinem Flaschenzug ein besonders schwerer Brocken, dann geriet der Mast ins Schwanken, oder es bestand die Gefahr, dass der einzelne Stamm sich durchbog und zerbrach. Er war also nicht stabil genug und besaß keine genügende Standfestigkeit, da er gewissermaßen nur auf einem Bein stand.

Wie verhält sich ein Mensch, der einen sicheren Stand einnehmen will? Er stellt sich breitbeinig auf. So ähnlich überlegten auch die Griechen, als sie ihren Kran verbesserten. Zwei gespreizt stehende Maste liefen nach oben zu einer Spitze zusammen.

Dieses Gerüst war stabiler als ein einzelner Mast und stand sicherer, da es auf zwei Punkten ruhte. Diese Konstruktion brachte außerdem noch einen weiteren Vorteil. Man konnte an die gespreizten Maste eine waagerechte Haspel montieren. Sie erleichterte

das Aufziehen der Last wesentlich und spulte das lange Seil stets ordentlich auf. Wieder war der Flaschenzug der wichtigste Teil des Kranes.

Kann man aber diese altgriechischen Seilmaschinen wirklich schon als Krane bezeichnen?



Altgriechischer Baukran mit Haspel

Wenn wir unsere 80 Meter hohen eisernen Riesen mit den Holzmast-Flaschenzügen der Griechen vergleichen, dann finden wir auf den ersten Blick wenig Ähnlichkeit zwischen ihnen.

Aber schauen wir genauer hin!

Ebenso wie an den altgriechischen Baukranen erkennen wir auch an den modernen Kranen Seile und Rollen, und damals wie heute wird die Last von einem Flaschenzug emporgewunden.

Gewiss, die Seile bestehen nicht mehr aus Hanf, sondern aus Stahl. Sie werden nicht mehr von Sklavenfäusten gezogen, sondern von starken Motoren auf eine Welle gespult. An die Stelle der hölzernen Maste sind hohe Stahlgerüste getreten, wahre Stahltürme. Und schließlich können viele der modernen Krane aus eigener Motorkraft bequem und schnell ihre Standorte wechseln.

Es ist auch ganz natürlich, dass sich die alte Seilmaschine von einem hochmodernen Kran unterscheiden muss. Eine Zeitspanne von 2000 Jahren liegt zwischen ihnen, das sind 2000 Jahre technische Entwicklung und Vervollkommnung. Aber das Prinzip ist im Grunde das alte geblieben:

Ein festes, hohes Traggerüst wird aufgerichtet, an das man so zweckmäßig wie möglich Flaschenzüge montiert.

Der Flaschenzug ist also ein sehr altes und wichtiges Maschinenelement, das sich bis heute erhalten hat, ohne seine Bedeutung zu verlieren. Es lohnt, sich genauer damit zu beschäftigen.

## 4.2 Wie fing es an?

Als ich in der Schule zum ersten Male von einem Flaschenzug hörte, konnte ich mir darunter nichts Rechtes vorstellen. Ich hatte geglaubt, er müsse irgend etwas mit Wein- oder Bierflaschen zu tun haben und war bass erstaunt, als uns der Lehrer einen richtigen Flaschenzug vorführte.

Die Rollen, so erklärte er uns, seien neben- oder übereinander zu sogenannten "Flaschen" vereint. Deshalb Flaschenzug.

Der Name stammt wahrscheinlich aus dem 15. Jahrhundert. Damals schmiedete man Trinkflaschen aus Blechen. Diese Flaschen sahen flach aus, mit nahezu parallelen Wandungen. Und in ähnlich geformte "Flaschen" setzte man die Rollenblöcke der Flaschenzüge ein. Daher der Name.

Aber wie mag der Flaschenzug entstanden sein?

Er wurde nicht plötzlich von irgendeinem klugen Mann erfunden, sondern allmählich entwickelt, während einer sehr langen Zeit. Der große griechische Philosoph Aristoteles, der schon 100 Jahre vor Archimedes gelebt hat, kannte den Flaschenzug bereits als etwas ganz Alltägliches.

Wir müssen also, wenn wir seiner Geschichte nachgehen wollen, noch einmal einen weiten Ausflug in eine ferne Vergangenheit unternehmen.

Schon frühzeitig, vor 10000 Jahren, also lange vor dem Bau der Pyramiden, hatten die Menschen erkannt, welche wertvollen Dienste ihnen ein Seil leisten konnte. Sie brauchten es nicht nur, um Pfähle oder Werkzeugteile zusammenzubinden, sondern vor allem, um Zugkräfte zu übertragen.

Überall da, wo der Arm des Menschen nicht hingelangen konnte, weil er zu kurz war, oder wo die Hand nicht richtig zuzupacken vermochte, griff man zum Seil. Es wurde zum verlängerten Arm des Menschen.

Hatten die Jäger ein Wild erlegt und mussten sie die Beute einen steilen Abhang hinabbefördern, so konnten sie diese an einem Seil hinablassen. Sollte ein Boot ans Ufer gezogen werden, so half ihnen das Seil dabei, und die Menschen brauchten nicht ins Wasser zu waten. Hatten sie einen großen Stein oder einen Baumstamm zu bewegen, den ein einzelner nicht zu bewältigen vermochte, so schlangen sie ein Seil um die Last, und dann konnten viele Männer mit vereinter Kraft zugreifen.

Die Menschen lernten etwas sehr Wichtiges: Man brauchte die Last nicht direkt anzupacken; ein Seil konnte die Zugkraft eines einzelnen Mannes oder vieler Männer auf die Last übertragen.

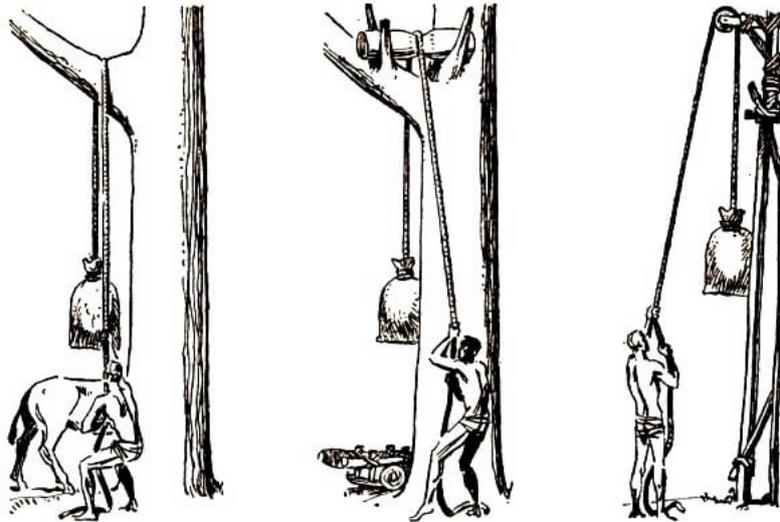
So ergab sich, dass man leichte Gegenstände, etwa kleine Steine, Wasserkrüge oder Körbe an einem Seil emporzog. Das war häufig bequemer als das Hinaufschleppen. Es hatte aber seine Gefahren. Wie leicht konnte man das Gleichgewicht verlieren und in die Tiefe stürzen!

Irgendwann kamen dann die Menschen auf einen glücklichen Einfall. Das Seil wurde über einen weit überhängenden, festen Baumast geworfen, wenn eine Last zu heben war, vielleicht, um ein Tragtier zu beladen. Der Packen, oder was es gewesen sein moch-

te, wurde an das Seil gebunden, und dann wurde kräftig an der Gegenseite gezogen. Man machte eine verblüffende Entdeckung:

Die Arme zogen von oben nach unten; der Packen aber hob sich von unten nach oben, also entgegengesetzt.

So veränderte der Ast die Zugrichtung des Seiles. Das war der erste Schritt zum Flaschenzug. Doch noch sparte man keine Kraft. Im Gegenteil. Der Mensch musste sich mächtig anstrengen, um die starke Reibung zu überwinden, die zwischen dem rauhen Ast und dem Seil auftrat. Trotzdem wurde die Arbeit leichter.



Die feste Rolle brauchte eine lange Zeit der Entwicklung

Man stand sicher auf der Erde und konnte sich beim Ziehen mit seinem ganzen Körpergewicht an das Seil hängen. Aber wie primitiv war dieser Aufzug! Die harte Baumrinde scheuerte an dem Seil. Bald musste es weggeworfen werden.

Wieder vergingen Jahrhunderte und Jahrtausende, und die Menschen erfanden das Rad; das Rad, ohne das kein Wagen rollen kann und ohne das keine Maschine denkbar ist. Auch für diese Erfindung brauchten die Menschen eine lange Zeit.

Jahrtausendlang waren die Lasten auf Baumstämmen, also auf Walzen vorwärts bewegt worden.



Der älteste Wagen, ein Walzenfahrzeug

Welch genialer Einfall, diese Walze schließlich an einem Balkenrahmen mit einigen Pfosten so zu befestigen, dass sie unter der Last nicht mehr wegrollte, sich aber dennoch drehen konnte. So entstanden drehbare Achsen, Scheibenräder und noch viel später das Speichenrad. Man baute schließlich klobige hölzerne Karren und kleine wendige Kriegswagen.

Es wird angenommen, dass das Rad zuerst bei den Sumerern auftauchte. Seine Erfindung übertrifft alle früheren Erfindungen an Bedeutsamkeit.

Sie ist um so bewundernswerter, als die Menschen nirgends in der Natur ein Vorbild für das Rad vorfanden. Es ist ihre ureigenste Schöpfung.

Die Menschen fanden heraus, dass sie das Rad nicht nur für Transportkarren und Kriegswagen verwenden konnten. War es ein glücklicher Zufall, als das Rad mit einem Seil in Verbindung gebracht wurde? Oder war es das Ergebnis langen und gründlichen Nachdenkens?

Wer vermag das zu beantworten!

Aber als der Mensch in den Rand einer hölzernen Scheibe eine Kerbe einschneidete, damit das Seil, das er um die Scheibe zu legen gedachte, nicht abrutschte, und als er weiterhin die Scheibe drehbar an einer Achse befestigte, da vollbrachte er eine Großtat der frühen Technik. Er schuf sich eine Seilmaschine.

Nun brauchte er das Seil nicht mehr über einen Ast oder einen Balken schleifen zu lassen. Er befestigte eine Rolle, anfangs zunächst eine Walze, an einem hochgelegenen Ort. Wie leicht ließen sich nun Lasten hinaufziehen, also heben! Die Reibung an den Achsenlagern war ja weit geringer geworden. Das Seil erhielt eine hundertfache Lebensdauer.

Dieser Rollenaufzug war schon so vollkommen, dass er sich bis in unser Atomzeitalter hinein erhalten hat. Wenn an einem Hausdach kleine Schäden auszubessern sind, dann lohnt es nicht, einen Kran oder einen elektrischen Bauaufzug einzusetzen.

Die Dachdecker montieren auf dem Dach eine Halterung, Schere genannt, in der eine drehbare Rolle gelagert ist. Dann ziehen sie die Dachziegel und den Mörtel an einem Seil hinauf.

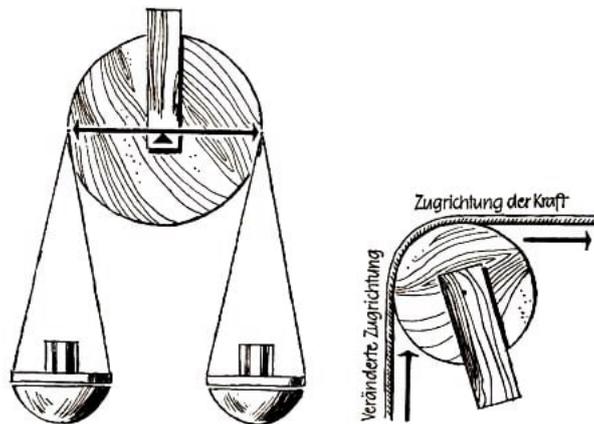
Eine solche Rolle, deren Schere unbeweglich an einem Ort bleibt, nennt man "feste Rolle", obwohl sich natürlich die Rolle selbst drehen kann. Sparte man mit diesem Aufzug bereits Kraft?

Denken wir uns eine Rolle an zwei gegenüberliegenden Punkten durchbohrt. An die Löcher hängen wir zwei Waagschalen. Dadurch erhält die Rolle große Ähnlichkeit mit einer Balkenwaage. Die beiden Radien der Rolle, die ja gleich groß sind, stellen dann die Arme des Waagebalkens dar.

Also ist eine feste Rolle nichts anderes als ein gleicharmiger Hebel, an dem Kraft und Last gleich groß sind. Und deshalb spart sie auch keine Kraft. Sie verändert aber die Richtung des Seiles und damit auch die Zugrichtung der Kraft.

Die feste Rolle war erfunden und damit ein großer technischer Fortschritt erzielt. Aber die Menschen waren mit dem Erreichten nicht zufrieden.

Rolle und Seil mussten sich doch so anordnen lassen, dass man weniger Kraft zum Lastheben brauchte!



An einer festen Rolle sind beide Kräfte, ähnlich wie bei einer Balkenwaage, gleich groß. Sie spart keine Kraft; aber sie verändert die Krafrichtung

Als man die Seilmaschinen, also die Flasenzüge, nach und nach entwickelte, geschah das in einer Zeit, in der Jahrtausende hindurch die Sklavenhaltergesellschaft bestand. Es gab genügend Sklaven, die alle groben und schweren Arbeiten verrichten mussten. Wollte man den Sklaven die Arbeit erleichtern?

Daran war außer den Sklaven niemand interessiert. Aber die Sklaven besaßen kein Eigentum. Sie hatten keine Werkzeuge, also auch keine Seile und Rollen.

Sie mussten mit dem Werkzeug arbeiten, das ihnen der Sklavenhalter zuwies. Wie sollten sie sich, da sie nichts besaßen, ein besseres Arbeitsgerät herstellen!

Andererseits verlangten die Herrscher und Sklavenhalter prunkvolle Paläste, Villen und Tempel. Damit diese errichtet werden konnten, musste man den Sklaven notgedrungen bessere, vollkommenerere Produktionsinstrumente in die Hand geben.

Das schwere Los der Sklaven erleichterte sich dadurch jedoch kaum. Zwar brauchten sie nicht mehr, wie beim Pyramidenbau, die Steinblöcke über schiefe Ebenen zu schleifen, aber die Antreiber verlangten statt dessen eine größere Arbeitsleistung.

Den Vorteil, den die Seilmaschinen brachten, hatten die Sklavenhalter; ihre Prunkbauten wurden schneller fertig.

Das war der Grund, weshalb man nach kraftsparenden Seilmaschinen suchte. Die Menschen nutzten Erfahrungen aus, die sie bei der täglichen Arbeit gewinnen konnten. Da war eine schwere, mit Früchten gefüllte Kiepe. Ein einzelner vermochte sie nicht zu schleppen. Man versah die Kiepe mit zwei Handgriffen, damit sich die Last auf zwei Sklaven verteilte. Jeder Träger brauchte nur noch das halbe Gewicht zu tragen.

Es ist denkbar, dass die Sklaven derartige Lasten auch in die Höhe ziehen mussten. Am einfachsten ging das so vor sich:

Man knüpfte an jeden Handgriff ein langes Seil. Zwei Sklaven standen in der Höhe und zogen die Last gleichmäßig an beiden Seilen empor. Auch hierbei entfiel auf jedes Seil und damit auf jeden Mann das halbe Gewicht des Korbes. Aber zu dieser Arbeit waren zwei Menschen nötig. Vom Kräftesparen konnte man erst dann reden, wenn ein einzelner die Last allein emporziehen vermochte und trotzdem nur die halbe Kraft brauchte.

Es ist anzunehmen, dass die Menschen auch hier durch eine zufällige Entdeckung oder

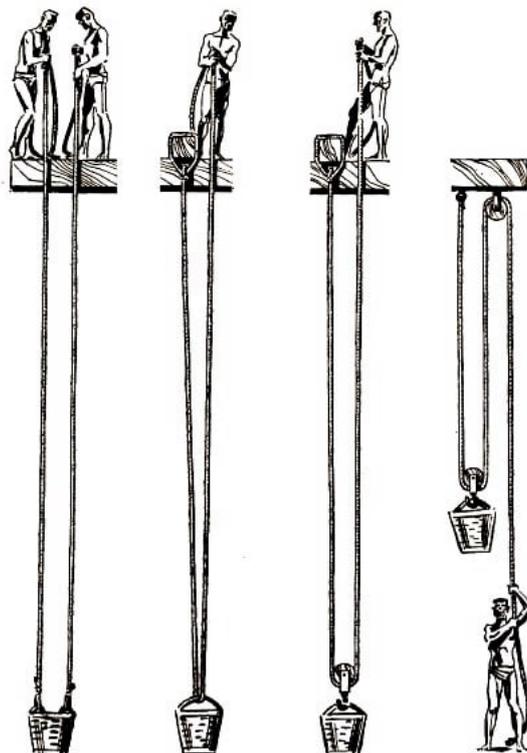
durch Arbeitserfahrung schließlich folgende Lösung fanden:

Sie verknüpften das Seil nicht mehr fest mit der Last, sondern ließen es beweglich durch eine Öse, eine Schlinge oder einfach durch den Haltegriff gleiten. Nun hatten sie zwei Seilenden. Das eine knoteten sie in entsprechender Höhe an einen Haken oder schlangen es fest um einen Balken. Das andere, frei gebliebene Seilende konnte nach oben gezogen werden, und die Last wurde gehoben.

Ihr Gewicht hielt das Seil straff, und dabei glitt das Seil durch die bewegliche Aufhängung. Bei dieser Arbeit sparte man die halbe Kraft. Die eine Gewichtshälfte wurde von dem Balken oder dem Haken getragen, und die andere Gewichtshälfte entfiel auf den Menschen, der das Seil einholte.

Welch beachtlicher Gewinn! Aber die Sache hatte zwei Nachteile. Nehmen wir an, die Last sollte auf eine Höhe von 20 Metern gehoben werden. Solange man beide Stränge gleichzeitig hochzog, hatte jeder Sklave ein 20 Meter langes Seil einzuholen.

Jetzt, da ein Seilende festgebunden war, musste ein Sklave allein die zweifache Seillänge einziehen, also insgesamt 40 Meter Seil. Der Kraftweg hatte sich somit verdoppelt, und es dauerte noch einmal so lange, ehe die Last oben anlangte. Dieser Mangel war nicht zu beseitigen. Es ist ein Naturgesetz, dass jede Kraftersparnis mit einem längeren Kraftweg bezahlt werden muss.



Entwicklungsstufen der losen Rolle und damit des einfachen Flaschenzuges

Der zweite Nachteil liegt auf der Hand. Es war die leidige Reibung, die zwischen dem Seil und der Last auftrat. Sie kostete Kraft und beschädigte das Seil. Diesen Mangel konnte man beheben, indem man die Öse oder Schlaufe gegen eine Rolle vertauschte. Sie ähnelte der festen Rolle, denn auch sie hatte eine Einkerbung, eine Achse und eine Schere. An die Schere knüpfte man die Last. Die Rolle hing mit ihrer Einkerbung im Seil, und beim Emporziehen bewegte sie sich mit der Last senkrecht nach oben. Sie

war also nicht mehr fest an einen Ort gebunden, sondern beweglich. Daher heißt sie "lose Rolle".

Jetzt besaß man ein sehr nützliches Gerät. Es sparte die Hälfte der Kraft und konnte leicht bedient werden. Man konnte es mühelos anmontieren oder versetzen.

Aber es gibt in der Technik kaum etwas, was sich nicht noch verbessern ließe. Wenn jemand mit dieser losen Rolle arbeiten wollte, musste er in luftiger Höhe stehen. Er brauchte einen sicheren Stand, der nicht immer möglich war. Und das Ziehen von unten nach oben kostete Anstrengung.

Es kam auch vor, dass die Arbeiter das Gleichgewicht verloren und abstürzten.

Konnte man diese Nachteile beseitigen?

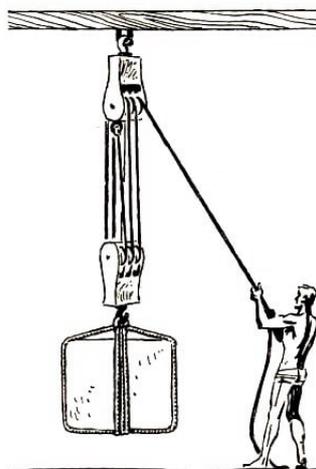
Wir wissen bereits, wie man die Zugrichtung eines Seiles verändern kann; man braucht dazu eine feste Rolle. Was lag näher, als die lose Rolle mit einer festen zu kombinieren! Man brachte in der Höhe, in der sonst der Arbeiter stehen musste, eine feste Rolle an, legte das freie Seil darüber und ließ es nach unten hängen. Das war bereits ein einfacher Flaschenzug. An der losen Rolle hängt die Last.

Nachdem die Menschen erkannt hatten, wie vorteilhaft es sich mit Rollen und Seilen arbeiten ließ, wollten sie noch bessere Seilmaschinen herstellen.

Warum sollte man nicht auch den vierfachen oder gar sechsfachen Kraftbetrag sparen können?

Die Lösung war höchst einfach. Man musste die Last an vier Seilstränge hängen. Dann hatte jeder Seilstrang nur ein Viertel des Gewichts aufzunehmen. Dazu benötigte man auch vier Rollen.

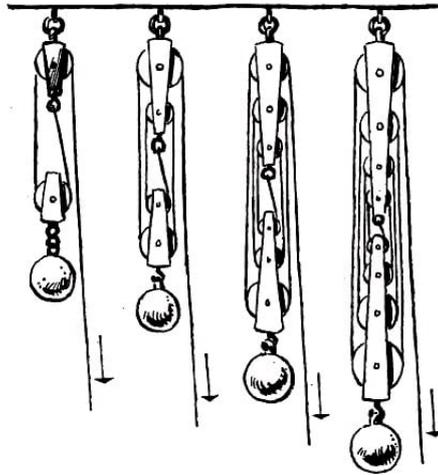
Zwei davon hakte man an das hohe Baugerüst, die anderen beiden blieben beweglich und konnten mit der Last auf- und niedergleiten. Damit diese Seilmaschine weniger Platz einnahm, ordnete man die Rollenpaare nebeneinander an, und zwar zu sogenannten Blöcken oder Flaschen.



Mit diesem Flaschenzug braucht man nur ein Sechstel des Gewichts aufzuwenden, wenn man den Stein heben will

Jetzt konnte schon ein Schwächling einen schweren Stein heben; er brauchte ja nur

noch ein Viertel der Kraft. Dafür bewegte sich aber die Last im Zeitlupentempo in die Höhe, weil die Kraft den vierfachen Weg zurückzulegen hatte.



Flaschenzüge

Wenn die Sache mit vier Rollen funktioniert, dann müsste sie es auch mit sechsen. Und so ist es auch: Sechs Rollen, sechs Seilstränge und sechsfacher Kraftweg, aber nur ein Sechstel der Kraft. Das ist geradezu phantastisch! Kann man das bis ins Unendliche fortsetzen und Flaschenzüge mit zehn, fünfzig, hundert Rollen bauen?

Überlegt selbst! Mit jeder Rolle, die neu hinzukommt, wächst die Reibung und nimmt das Gewicht der Seile zu, die man ebenfalls hinaufziehen muss. Die Kraftersparnis wäre bei allzu großer Rollenzahl gleich Null. Deshalb geht man, von seltenen Ausnahmen abgesehen, nicht über sechs oder acht Seilstränge hinaus.

Die Flaschenzüge finden wir fast unverändert an den Kranen aller Jahrhunderte. Im Mittelalter verwendete man häufig an Stelle der Seile schwere eiserne Ketten als Kraftübertragungsmittel. Heute werden Stahlseile benutzt, denn sie sind besonders fest und gleichzeitig biegsam.

Ein Stahlseil ist ein wahres Wunderwerk der Technik. Es besteht aus über 200 einzelnen Stahldrähten, die zu einem Seilstrang gewunden oder, wie es in der Fachsprache heißt, geschlagen werden. Das Drahtseil ist jedoch keine Erfindung der Neuzeit!

Bei der Ausgrabung der antiken Stadt Pompeji haben die Archäologen einen aufschlussreichen Fund gemacht. Pompeji war eine altrömische Provinzstadt in der Nähe des heutigen Neapel am Südfuße des feuerspeienden Vesuvs.

Vor 1900 Jahren, genauer im Jahre 79 vor unserer Zeitrechnung, schossen plötzlich aus dem Schlunde des Vesuvkraters gewaltige Flammen, und Lavamassen ergossen sich über die Abhänge des Vesuvs. Ein dichter Regen aus glühender Asche sank auf die unglückliche Stadt herab und bedeckte sie mit einer viereinhalb Meter hohen Schicht, unter der alles Leben erstarb.

Die Stadt wurde nicht wieder aufgebaut und galt später als verschollen. Erst im 18. Jahrhundert begann die Ausgrabung.

Unter den Trümmern fand man neben vielen wertvollen Kunstschatzen ein vier Meter langes Drahtseil. Es war aus drei Strängen gewunden, und jeder Strang bestand aus 15 Bronzedrähten. Wozu mag es einst gedient haben?

Sicher hatte man es gebraucht, um die großartigen Bauwerke zu errichten, die dann durch den Vesuvausbruch vernichtet wurden. Wir dürfen also annehmen, dass man bereits im Altertum hier und da für die Flaschenzüge Drahtseile benutzte.

Soweit die Geschichte des Flaschenzuges. Sie brachte keine Sensationen, und dennoch war sie recht interessant. Sie hat uns gezeigt, dass die Menschen unvergängliche technische Erfindungen gemacht haben, denn der Flaschenzug, dieses uralte technische Gerät, ist bis zum heutigen Tage unentbehrlich geblieben.

Stellen wir die Dampfmaschine dagegen, die das gesamte Leben der Menschen revolutionierte! Sie ist erst 200 Jahre alt und schon entthront.

### 4.3 Eine Epoche wird abgelöst

Aus dem ersten Jahrtausend unserer Zeitrechnung wissen wir nur wenig über den Kranbau. Hier und da finden wir einige Beschreibungen von der Hand römischer Schriftsteller, auch einige Zeichnungen blieben erhalten, aber sie zeigen uns nicht viel Neues.

Dagegen vollzogen sich entscheidende Umwälzungen im Leben der Menschen: Die Sklavenhaltergesellschaft zerfiel und machte einer neuen Ordnung Platz. Wie kam es dazu?

Jahrhundertlang regierten die römischen Kaiser als die mächtigsten Männer Europas. Ihre Legionen marschierten waffenklirrend durch die Nachbarländer Roms und eroberten ein Riesenreich, das von Ägypten bis England und von Spanien bis zum Schwarzen Meer reichte. Von überall verschleppten sie Männer, Frauen und Kinder zur Sklavenarbeit. Auf den Schultern dieser Unglücklichen lastete die gesamte Wirtschaft des Reiches.

Konnte eine solche Wirtschaft gegen Krisen gefeit sein? Konnte sie aufblühen, sich weiterentwickeln?

Die Sklaven arbeiteten lustlos; sie waren mit ihren Gedanken nicht bei der Arbeit, sondern schmiedeten Pläne, wie sie sich ihrer Peiniger entledigen könnten. Kein Wunder, dass sie weder die Werkzeuge, die ihnen ja nicht gehörten, noch ihre Arbeitsmethoden vervollkommneten!

Was ging es sie an, ob der Boden reiche oder karge Früchte hervorbrachte, ob die Weinkrüge, die sie brannten und die Stoffe, die sie webten, schön, dauerhaft und preiswert waren?

Sie durften die Oliven nicht essen, die sie ernteten; sie tranken keinen Wein, sie mussten sich in Lumpen hüllen.

Die reichen Römer dagegen gierten nach Gold und Luxus. Sie konnten nie genug davon bekommen und verlangten nach immer mehr Sklaven. Aber wo sollte man sie hernehmen? Welche Gebiete ließen sich denn noch erobern?

Die römischen Legionäre hatten ja Mühe genug, die unterjochten Völker niederzuhalten, die Sklavenaufstände im eigenen Lande zu zerschlagen und die Grenzen des aufgeblähten Reiches zu sichern.

Und so kam es, dass der Sklavenstrom immer dürftiger nach Rom floss. Die Arbeitserträge verminderten sich. Die Wirtschaft geriet schließlich völlig durcheinander. Die einst

blühenden Hafenstädte verödeten, die Marktplätze verwaisten und die Handelsstraßen verrotteten.

Im 4. Jahrhundert glich das Riesenreich einem Koloss, der auf tönernen Füßen stand. Ein paar kräftige Schläge konnten sie zu Scherben hauen, und dann musste das ganze aufgeblasene Gebilde zusammenbrechen.

Wer würde diese Schläge führen?

Von Norden her drangen germanische Stämme nach Italien ein, und in den römischen Provinzen entlud sich der aufgespeicherte Hass der Sklaven in blutigen Aufständen. Wo Sklaven und Germanen zusammentrafen, verbündeten sie sich und kämpften gemeinsam gegen die Römer.

Damit war, um das Jahr 500, der Untergang der römischen Macht besiegelt. Die germanischen Eroberer besetzten nach und nach alle Provinzen Westroms.

Gleichzeitig mit dem römischen Reich aber zerfiel in Europa auch die jahrtausendealte Sklavenhaltergesellschaft.

Es bildete sich eine neue Ordnung heraus. Wir nennen sie Feudalismus.

Es dauerte mehrere Jahrhunderte, bis sich diese Feudalordnung voll entfaltet hatte. Wie veränderte sich das Leben der Menschen?

Wiederum gehörte das Ackerland nicht denen, die es bearbeiteten, sondern den Grundbesitzern, den Feudalherren. Diese wollten möglichst reich werden, möglichst viel Land besitzen. Aber Land allein machte noch nicht reich. Es musste bestellt werden, und dazu brauchte man Bauern.

Die Bauern waren jetzt zwar Leibeigene, aber keine Sklaven mehr. Sie besaßen Eigentum; ihnen gehörten Wagen und Vieh, Pflüge und Eggen. Außerdem durften sie einen Teil der Feldfrüchte für sich behalten. Je mehr sie ernteten, desto größer wurde ihr eigener Anteil. Deshalb versuchten sie, möglichst viel aus dem Boden herauszuwirtschaften.

Sie suchten nach neuen Anbaumethoden; sie trachteten danach, ihre Arbeitsgeräte zu vervollkommen und verbesserten die Pflüge und das Geschirr für die Zugtiere.

Konnten aber die Feudalherren ihren Landbesitz beliebig ausdehnen?

Land ohne Bauern war nutzlos. Die billige Arbeitskraft der Sklaven gab es nicht mehr. Also suchten viele Feudalherren nach anderen Möglichkeiten, ihren Reichtum zu mehren.

Wer zum Beispiel eine Sägemühle besaß, konnte mit wenigen Menschen auskommen und dabei große Gewinne einstecken. Man ließ die Säge von einem Wasserrad antreiben, das die Arbeitskraft vieler Menschen ersetzte.

Die Arbeitskraft des Wassers kostete nichts; es gehörte ja zum Landbesitz des Feudalherren. So sahen sich viele Feudalherren gezwungen, technische Neuerungen einzuführen, wenn sie reich und mächtig werden wollten.

Die Mühlenbauer bekamen viel zu tun. Sie errichteten Wasserräder in großer Zahl. Aber sie konnten außerdem Getriebe entwerfen, Wehre und Schleusen anlegen, und ständig waren sie unterwegs, um die Wassermühlen auszubessern.

So kam es, dass bald überall die Wasserräder klapperten. Sie drehten die Mahlsteine der Getreidemühlen, walkten die Stoffe, bewegten die Hämmer in den großen Sensen- und Waffenschmieden und trieben die Blasebälge der Hüttenwerke an.

Das alles hätten bereits die Griechen und Römer vermocht, aber es zwang sie ja nichts dazu, denn damals herrschte kein Mangel an Arbeitskräften. Jetzt dagegen musste man mit weniger Menschen viel leisten. Deshalb war man bemüht, die Technik auf allen Gebieten zu verbessern.

Das trifft auch für die Krane zu. Es entstanden ja viele machtvolle Städte mit zahlreichen Kirchen, Türmen und Toren. Im 13. und 14. Jahrhundert begann man sogar riesige, in den Himmel strebende Dome zu errichten. Das Münster in Ulm zum Beispiel besitzt mit 161 Metern den höchsten Kirchturm der Welt.

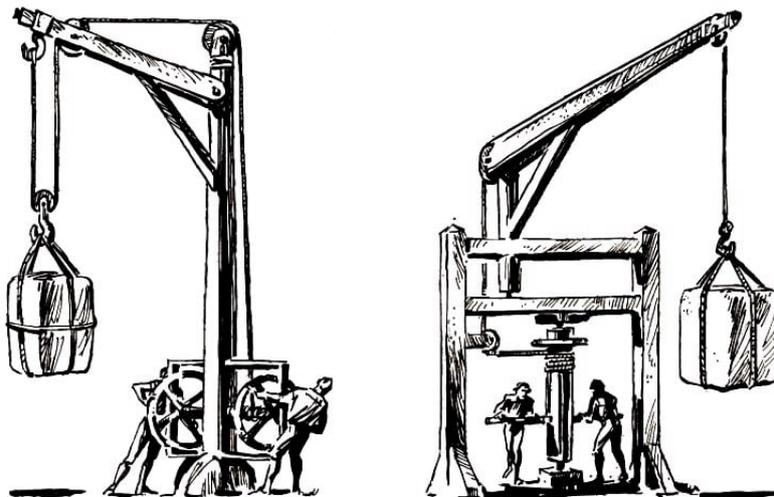
An solchen Bauwerken arbeitete man häufig jahrhundertlang. Natürlich brauchte man dafür auch Krane und Bauaufzüge. Wenn wir erfahren wollen, wie sie ausgesehen haben, dann müssen wir alte Bilder betrachten oder in Aufzeichnungen der damaligen Techniker blättern.

#### 4.4 Zeichenblätter eines Erfinders

In der Mitte des 15. Jahrhunderts lebte in Italien der Erfinder Marianus Jacobus. Wie es damals unter gelehrten Leuten üblich war, legte er sich außerdem einen lateinischen Namen zu und nannte sich Taccola.

Er wohnte in Siena, einer Stadt, die inmitten der schönen Toskanalandschaft liegt.

Taccola galt unter den Bürgern seiner Stadt als der "Archimedes von Siena". Vielleicht hat er tatsächlich einige technische Leistungen vollbracht. Leider wissen wir davon nichts. Sein Name wäre vergessen, hätte er nicht einige interessante Schriften und Zeichnungen hinterlassen.



links: Feststehender Kran mit starrem Ausleger

rechts: Kran mit Göpelaufzug. Der Ausleger konnte bereits geschwenkt werden

Als Techniker musste Taccola viel im Lande umherreisen. Das war ihm willkommen, denn so konnte er viele Maschinen und technische Einrichtungen kennenlernen. Er

sammelte seine Beobachtungen und zeichnete fleißig alle Maschinen auf, die man damals benutzte. Dabei vergaß er auch die Krane nicht. Blättern wir ein wenig in seiner Zeichenmappe!

Viele Jahrhunderte waren vergangen, seit die Griechen ihren ersten Baukran aufgestellt hatten. Welche Fortschritte hatte man seitdem erzielt?

Einige wichtige Verbesserungen sind bereits zu erkennen. Vor allem ist das Gerüst, das den Flaschenzug und die Winde trägt, viel komplizierter angelegt.

Der Mast stand nicht mehr schräg, sondern senkrecht. Dafür trug er oben einen galgenartigen, kräftigen Balken, der weit zur Seite ragte und die Seilrolle hielt. Dieser Balken heißt Ausleger. Er verbesserte den Kran bereits wesentlich.

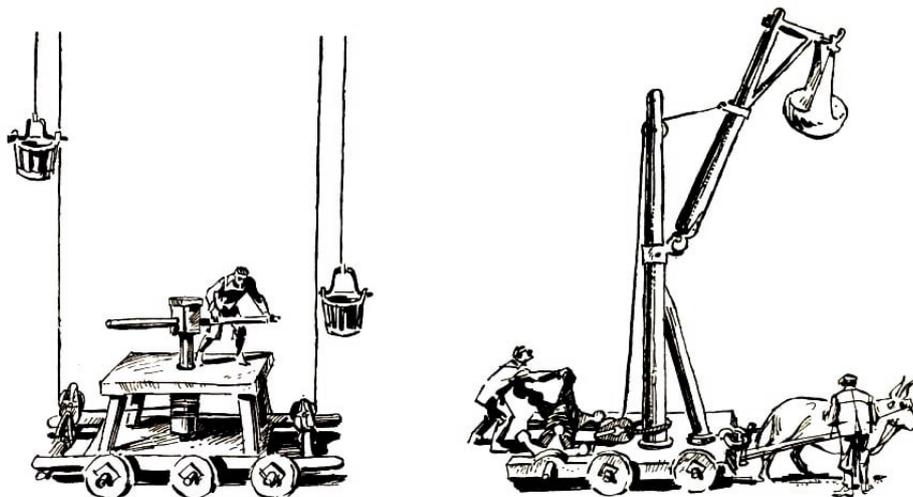
Solange der Ausleger starr und unbeweglich stand, bot er noch keine großen Vorteile. Man konnte mit diesem Kran die Lasten lediglich heben oder senken.

Eine andere Zeichnung Taccolas zeigt dagegen einen Kran, der der Urahne unserer Turmdrehkrane sein könnte. Der eigentliche Kran mit Ausleger und Winde stand auf einem hohen Gerüst. Dieser Ausleger konnte bereits geschwenkt werden.

Die Last wurde nicht nur senkrecht gehoben, sondern sie beschrieb beim Schwenken des Auslegers einen Kreisbogen. Dadurch ließen sich die Bausteine und Mörtelimer viel bequemer an den Arbeitsplatz des Maurers schaffen.

Schließlich hat uns Taccola noch einen Kran aufgezeichnet, der schon recht kompliziert ist. Seine Konstrukteure hatten ihn gut durchdacht, denn er wies gleich zwei beachtliche Neuerungen auf.

Da ist zunächst der Ausleger. Er war nicht starr mit dem Kranmast verbunden, sondern lag beweglich in einer eisernen Halterung. Dadurch konnte der Ausleger zwei Bewegungen vollführen. Er ließ sich seitlich schwenken, aber man konnte ihn außerdem heben und senken. Man nennt eine solche Auslegerbewegung "wippen". Wippkrane haben heute eine große Bedeutung. Dieser von Taccola entdeckte Kran war wohl einer der ersten mit einem wippbaren Ausleger.



links: Fahrbarer Doppelaufzug  
rechts: Fahrbarer Baukran, dessen Ausleger sowohl geschwenkt als auch gewippt werden konnte

Weiterhin war dieser Kran bereits fahrbar. Er hatte Räder und an seiner Grundplatte einen dicken Eisenring. Daran konnte man ein Zugtier spannen, wenn man den Kran an einer anderen Stelle des Bauplatzes benötigte.

So sparte man das umständliche Auf- und Abbauen des Kranes; man konnte schneller und bequemer arbeiten. Der Techniker, der sich diese Maschine ausgedacht hatte, suchte bereits nach einer vorteilhaften, rationellen Arbeitsweise.

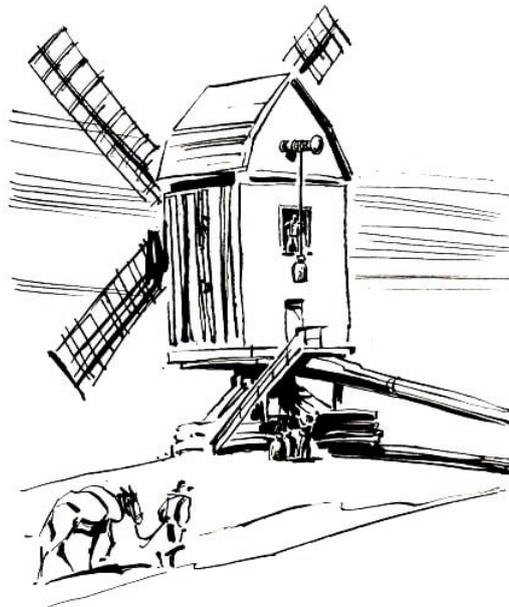
Alle diese Krane mussten, ebenso wie bei den alten Griechen, von Muskelkraft betrieben werden. Die Welle, die das Zugseil aufnahm, wurde mit Handrädern oder Kurbeln bewegt. Man hatte sie so gebaut, dass stets mehrere Männer gleichzeitig zupacken konnten.

Aber bereits zu Taccolas Zeit sann man darüber nach, ob man die Muskelkraft nicht durch eine andere Antriebsquelle ersetzen könne.

Seit Jahrtausenden wussten die Menschen, dass dem Wind große Kräfte innewohnen. Der Wind blähte die Segel ihrer großen Schiffe und trieb sie über das Meer. Er bewegte unermüdlich die großen Flügel der Windmühlen, drehte die Mahlsteine und mahlte das Korn zu feinem Mehl. Konnte man diese Kraft, die die Natur den Menschen kostenlos lieferte, auch zum Lastenheben benutzen?

In einem sehr alten deutschen Buch über die Kriegstechnik des 15. Jahrhunderts wird ein Aufzug erwähnt, der die Krieger schnell auf die Burgmauern und Türme befördern sollte. Dieser "Fahrstuhl" sollte von vier Windrädern angetrieben werden. Ob er funktionierte, ist zweifelhaft.

Aber Taccola hat auf seinen Reisen tatsächlich einen Aufzug beobachtet, der mit Windkraft betrieben wurde.



Ein Müller, der eine Windmühle besaß, hatte eine glänzende Idee gehabt. Wahrscheinlich war es ihm übergeworden, die schweren Getreidesäcke über die enge, steile Stiege seiner Mühle hinaufzuschleppen. Konnte der Wind das Korn mahlen, sollte er es auch hinauftragen. Der Müller ließ sich eine Seilwelle zimmern, die er nach Belieben in das

Mühlengetriebe schalten konnte. Mit Leichtigkeit bewegte der Wind die Seilwelle und wand die prallen Getreidesäcke in die Höhe.

Solche Versuche, die Windkraft zum Lastenheben auszunutzen, blieben selten. Der Müller war nicht nur klug gewesen, er hatte auch mächtiges Glück. Seine Mühle stand auf einem Hügel, an einem Ort, wo stets kräftige Winde piffen.

Außerdem war seine Mühle so sinnreich gebaut, dass er sie in die jeweilige Windrichtung drehen konnte.

Aber Krane muss man überall einsetzen können. Gerade in windgeschützten Tälern, in denen sich die Menschen angesiedelt hatten, wurden sie gebraucht. Dort wehte der Wind unbeständig, mitunter gar nicht, zumindest aber nicht stark genug, um eine Hebemaschine antreiben zu können.

Mit windradbetriebenen Kranen hätte man also nur an stürmischen Tagen Häuser bauen können.

Deshalb gab es für derartige Hebemaschinen keine Zukunft. Die Menschen sahen sich nach wie vor gezwungen, ihre Muskeln zu gebrauchen. Aber sie suchten nach Wegen, wie sie ihre Muskelkraft zweckmäßiger einsetzen konnten. Dabei kamen sie auf einen ebenso einfachen wie nützlichen Gedanken.

#### **4.5 Es knarrt und rasselt**

Es war eine stürmische Nacht des Jahres 1330. Die Hansestadt Lüneburg lag in tiefem Schlaf.

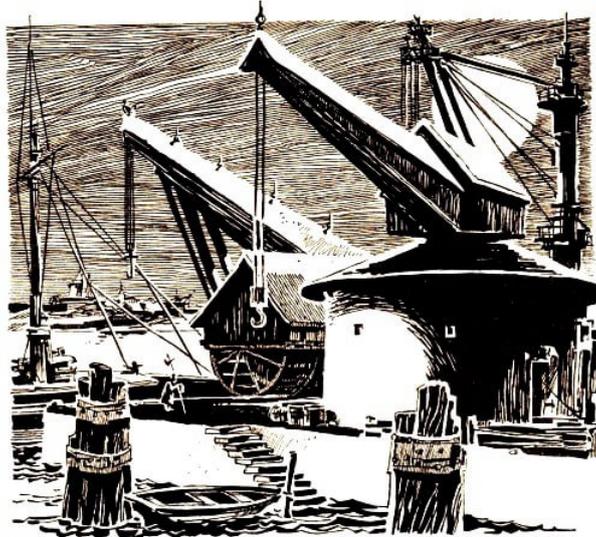
Wie ausgestorben waren die finsternen Straßen und Plätze. Nur der Nachtwächter, mit Laterne, Tuthorn und Spieß bewaffnet, zog wachsam seine Runden. Durch die verwinkelten Gassen piff der Wind und blies das Licht aus. Es war eine Nacht zum Fürchten. Der Nachtwächter packte seinen Spieß fester und tappte zum Hafen hinunter. Er überquerte den weiten, von engbrüstigen Bürgerhäusern gesäumten Hafenplatz und gelangte an das Ufer.

Hier kamen tagsüber vollbeladene Frachtkähne den Ilmenaufluss heraufgefahren. Sie brachten Säcke, Fässer und Packen mit orientalischen Gewürzen, flandrischem Tuch, mit Fellen, Hanf, Wein und Honig. Die entladenen Kähne schwammen nicht mit leeren Bäuchen wieder davon, sondern schwer beladen mit Getreide, Holz und Salz. Vor allem Salz!

Die Stadt besaß das Monopol der Hanse für dieses kostbare Gut, das von hier in die Welt hinausging und den Pfeffersäcken große Gewinne brachte.

Jetzt in der Nacht lagen die Kähne festgemacht und bewegten sich an ihren ächzenden Tauen auf dem dunklen unruhigen Wasser. Der Nachtwächter schritt beklommen weiter. Unmittelbar auf der Uferstraße, dicht am Wasser, drohte ein sonderbar geformter Turm, unten breit ausladend, oben spitzgiebelig, mit einem weit über das Wasser ragenden Arm.

Er sah aus, als hocke dort ein riesengroßer schwarzer Vogel, ein Kranich etwa, der seinen langen Hals starr in den nächtlichen Himmel streckte.



Dem Nachtwächter grauste, als er an dem düsteren Holzbau vorbeischlich. Wenn der Wind gegen die Bretterwände schlug, dann war ein schauerliches Knacken und Knarren zu hören und manchmal sogar ein Gerassel von schweren eisernen Ketten. Ganz so, als trieben dort drinnen Dämonen ihr Unwesen. Und deshalb beeilte sich der Mann, noch vor Mitternacht vom Hafen wegzukommen.

Im Lichte der Morgensonne erwachte dann im Hafen ein reges Treiben, und jetzt sah auch der Turm auf der Uferstraße nicht mehr schreckenerregend aus. Er entpuppte sich als ein großes hölzernes Kranhaus, dessen Form an ein Windmühlenhaus erinnerte. Auf einem breiten Rundbau saß ein spitzgiebeliges Häuschen mit einem langen bedachten Ausleger, von dem eine Kette mit einer losen Rolle herabhing.

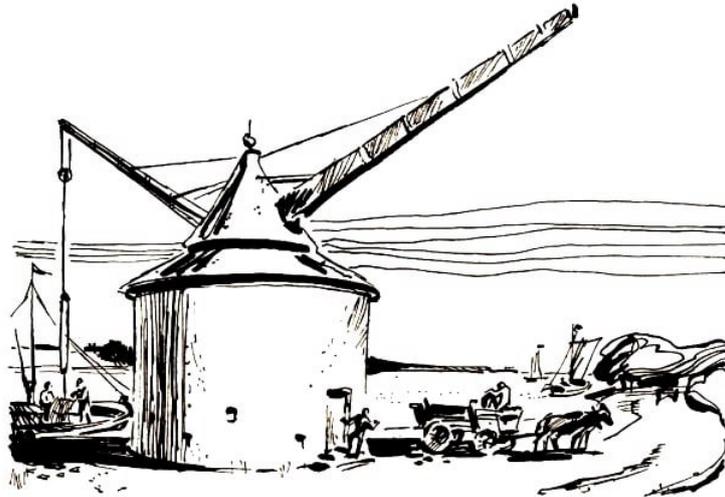
Dann polterten Fuhrwerke über den Platz und stellten sich neben dem Kran auf. Einige Männer kamen schwatzend herangeschleudert und verschwanden durch eine niedrige Tür im Kranhaus. Sogleich setzte ein Knarren ein, und die Lastkette mit dem eisernen Haken an der losen Rolle rasselte in den Bauch eines Lastschiffes hinab. Ein Ruf erscholl, und schon schwebte ein schwerer Packen in die Höhe. Gleichzeitig aber schwenkte das spitzgiebelige Kranhäuschen mitsamt dem Ausleger über das Ufer zu den wartenden Wagen.

War der Packen auf einem Fuhrwerk abgesetzt, drehte sich der Ausleger wieder zurück, um die nächste Last zu holen. Den ganzen Tag, von der Frühe bis zum Abend, rasselte und knarrte es da drinnen.

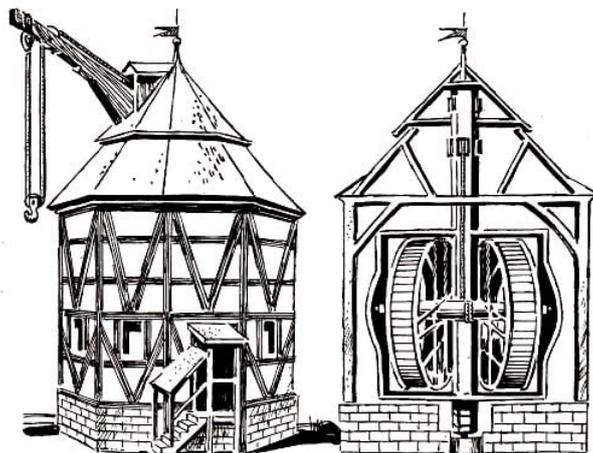
Nur in der Mittagspause kamen die Männer heraus, blinzelten in das helle Sonnenlicht, legten sich aufs Pflaster und streckten ihre Beine aus. Nach kurzer Zeit kletterten sie wieder in das düstere Kranhaus zurück.

Dieser Hafenkran der Hansestadt Lüneburg war recht praktisch. Die Ladungen konnten rasch gelöscht werden und die Schiffe in kurzer Frist neue Fracht aufnehmen. Die Kaufleute hatten es eilig, sie trieben große Handelsgeschäfte, und jeder Tag, an dem Güter verkauft wurden, brachte bares Geld. So waren derartige Krane notwendig geworden. Aber wie sah es im Innern des Kranhauses aus? Hatten die Techniker einen Mechanismus gefunden, bei dem sie sich weniger anzustrengen brauchten?

Es sind eine ganze Reihe derartiger alter Hafenkran erhalten geblieben. Sie stehen an den Ufern des Rheins, der Mosel und des Mains. Auch der Lüneburger Kran, im Jahre 1330 gebaut, hat alle Stürme der Jahrhunderte überstanden und steht heute unter Denkmalschutz.



Tretkran zu Trier, 1413 erbaut



Mittelalterlicher Tretkran mit Tretradantrieb. Links: Äußere Ansicht, rechts: Blick ins Innere des Kranhauses mit den beiden großen Treträdern

Fassen wir Mut und klettern wir in das schummerige Kranhaus hinein!

Es ist eng, denn sein Innenraum wird fast vollständig von einem mächtigen Räderpaar ausgefüllt. Die Räder haben vier Meter Durchmesser und sind so breit, dass in jedem Rad bequem zwei Männer stehen können. Eine dicke hölzerne Welle verbindet die beiden Räder und bildet ihre gemeinsame Achse. Um diese Welle ist das eine Ende der Eisenkette gewunden, während sich das andere oben im Dunkel verliert. Die Kette läuft dort über Rollen und kommt an der Spitze des Auslegers wieder ans Tageslicht.

Aber wie bewegte man die Welle und damit auch die schwere Kette, an der die Last hing?



Man muss sich in eines der großen Räder stellen und versuchen, an der gewölbten Innenwand hinaufzusteigen. Sofort setzt sich das gewaltige Rad ächzend in Bewegung. Das vollbringt die Schwere unseres Körpers.

Wollte man also eine Last heben oder senken, musste man in den Rädern auf der Stelle treten. Sie heißen deshalb auch Treträder. Das Tretrad wurde bereits vereinzelt von den Griechen benutzt.

Es hatte eine ähnliche kraftsparende Wirkung wie eine Kurbel, nur mit dem Unterschied, dass man mit der Trettrommel viel mehr Kraft sparte.

Eine Kurbel darf nicht zu lang sein; wie sollte man sie sonst drehen?

Anders das Tretrad. Sein Radius betrug zwei, drei, sogar vier Meter, und je größer man das Rad gebaut hatte, um so weniger Kraft brauchte man aufzuwenden. Allerdings nahm mit dem Durchmesser auch der Umfang des Rades zu, der Kraftweg wurde länger, und die Hubarbeit ging langsamer vonstatten. Da der alte Hafenkran zwei Treträder besitzt und jedes von mehreren Männern "getreten" wurde, vermochte man bereits beachtliche Lasten zu heben.

Die Lauffläche der Räder sieht ziemlich abgetreten aus. So manche Meile mussten die Männer heruntertrampeln, ehe der Bauch eines Lastkahnes leer war. Den ganzen Tag liefen sie in dem halbdunklen, engen Krangerüst, ständig das Ächzen der Räder und das Kettengerassel in den Ohren. Es war eine eintönige und geistlose Arbeit.

Für die abergläubischen Menschen des Mittelalters hatten diese mächtigen, knarrenden Maschinen in den dunklen Kranhäusern etwas Dämonisches.

So kam es, dass mittelalterliche Maler und Dichter das Tretrad in die "Hölle" verlegten. Man zeichnete einen Teufel, der ein grässliches, mit Messern besetztes Rad tritt, oder man dachte sich Geschichten aus, in denen die verdammten Seelen, um dem Höllenfeuer

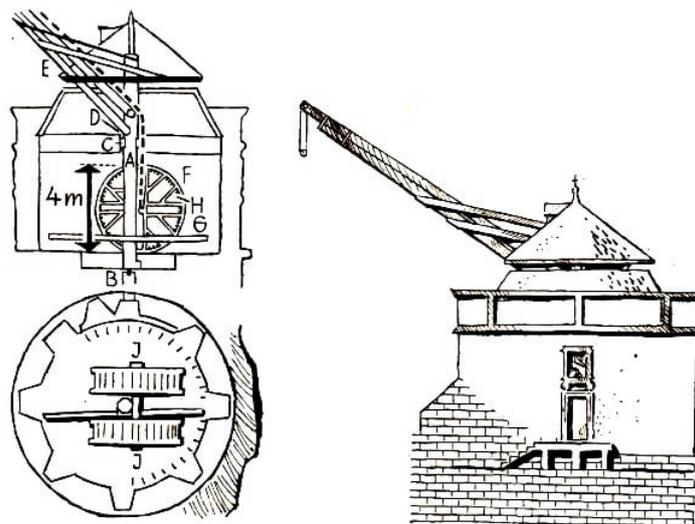
zu entfliehen, im Innern der Erde voller Angst emporkletterten und dadurch unsere Erde in Drehung versetzten.

Aber sehen wir uns weiter in dem alten Kranhaus um!

Die Last konnte ja zwei Bewegungen vollführen, sie konnte gehoben, aber außerdem noch geschwenkt werden. Um das zu ermöglichen, besitzt der Kran einen senkrechten Mittelbaum, die sogenannte Kaisersäule. Sie reicht vom Boden bis zur Spitze des Kranes. Dort ist sie mit dem drehbaren Kranhäuschen verbunden. Unten ruht ihr Lagerzapfen in einem Basaltblock.

Die Kaisersäule musste aus einem sehr festen Holzstamm gezimmert sein, denn sie wurde am stärksten beansprucht. Sie trug nicht nur den Auslegerteil und die Last, sondern auch die beiden Treträder mit den Arbeitern darin. Die Räder waren nämlich rechts und links an der Säule festgemacht.

Wenn der Kran seine Last schwenken sollte, dann musste sich die Kaisersäule drehen, und das mitsamt den Treträdern und dem oberen Kranhäuschen. Auch das geschah durch Muskelkraft. Man benutzte dazu einen langen Querbaum, gegen den man sich, ähnlich wie es Seeleute an einem Ankerspill tun, mit aller Kraft stemmen musste.



Drehkran zu Andernach am Rhein, erbaut 1554

Oben: Treträder mit einem Durchmesser von vier Metern gehörten zu den größten Antriebsmaschinen jener Zeit

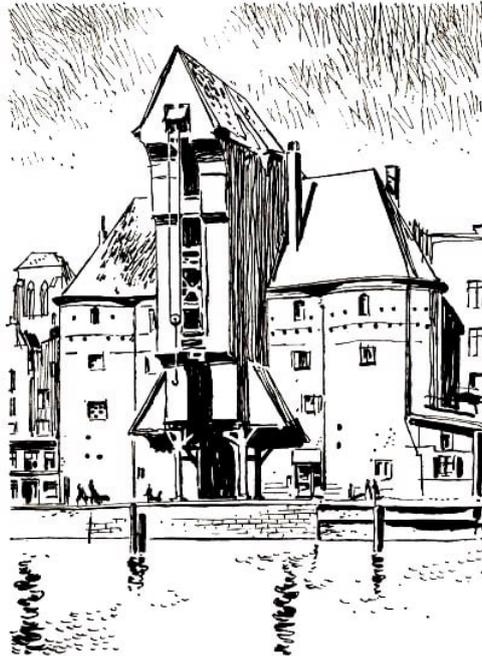
A = Kaisersäule, B = Spurzapfen, C = Führungsrolle, D = Rollenbahn, E = Ausleger, F = Treträder, G = Querbaum, H = Laufbahn, J = Lagerrahmen

Unten: Blick von oben in das Kranhaus: Zwei große Treträder waren nebeneinander angeordnet. Der Querbaum diente zum Drehen des Auslegers

Diese Kranhäuser mit Tretantrieb blieben jahrhundertlang in Gebrauch. Im Laufe der Zeit änderte sich nur ihr äußeres Bild; es wurde dem jeweils herrschenden Baustil angepasst. Der Lüneburger Kran verrät deutlich seinen gotischen Stil. Später entstanden runde, gedrungene Steintürme, die zum Schwenken ein drehbares Dach erhielten.

Einer der größten Tretkrane, die noch aus der Hansezeit stammen, ist das weltberühmte Krantor zu Gdansk. Man baute 31 Jahre, von 1411 bis 1442, an dem wuchtigen

Backsteinbau. Dieser Kran bildet eine interessante Ausnahme unter den hanseatischen Hafenkranen.



Sein Ausleger ragte wie ein spitzgiebeliges Hausdach über den Mottlauf und konnte nicht geschwenkt werden. In seinem Innern drehten sich vier gewaltige Treträder, jedes mit einem Durchmesser von sieben Metern und eineinhalb Meter Breite. Die Räder, paarweise angeordnet, wandten zwei Lastketten in die Höhe. Die Tragkraft jeder Kette betrug zwei Megapond.

In der oberen Kette hing eine große lose Rolle, an der man die Last befestigte.

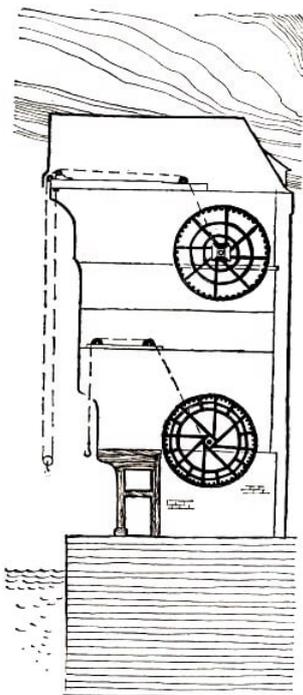


Abbildung: Das Innere des Krantores zu Gdansk. Die Lasten konnten gleichzeitig von zwei Treträder-Paaren in die Höhe gewunden werden

Der hohe, feste Bau überragte weit die benachbarten engen Häuser. Er diente nicht allein als Kran, sondern gleichzeitig als Stadttor. Wenn ein Schiff dort zum Löschen festmachte, gingen die Kapitäne durch das Krantor in die Stadt und gelangten in die Breitgasse. Hier wohnten die Reeder, mit denen die Kaufleute ihre Frachten aushandelten und von denen die Kapitäne ihre Aufträge empfangen.

Das Hebewerk dieses alten Krans wurde nicht nur zum Löschen der Schiffe verwendet. Mit seiner Hilfe setzte man den Seglern die hohen Masten ein, und noch vor 30 Jahren hob die obere Lastkette kleine Flussschiffe mit ihrem Heck aus dem Wasser, wenn es an der Schiffsschraube oder am Steuerruder etwas zu reparieren gab.

Das altherwürdige Bauwerk brachte also noch in jüngerer Zeit einen praktischen Nutzen und war nicht nur eine Sehenswürdigkeit.

Im 2. Weltkrieg brannte das Krantor aus. Jahrelang spiegelte sich dann seine düstere Ruine in dem Wasser der Mottlau. Doch jetzt steht das bekannte Bauwerk wieder in alter Schönheit an seinem Platz.

Die Stadtväter des sozialistischen Gdansk haben es von neuem errichten lassen. Der Welt ist so ein berühmtes Denkmal der Technik erhalten geblieben.

### 4.6 Fontana hebt 500 Tonnen

Die Tretkrane blieben lange Zeit die vollkommensten Hebemaschinen mit Muskelantrieb. Sie genügten, um die Güter in den Häfen umzuschlagen und auf den Baustellen die Ziegelsteine und Mörtelimer zu heben.

Aber ihre Hubkraft reichte nie über ein bescheidenes Maß hinaus.

Wie halfen sich aber die Techniker, wenn sie eine außergewöhnlich schwere Last zu heben hatten und ein Tretkran bei dieser Aufgabe versagte?

Sie mussten sich jedesmal eine neue Methode ausknobeln. Dabei gingen sie häufig mit einem bewunderungswürdigen Scharfsinn vor. Davon zeugt eine großartige Leistung, die der italienische Architekt Domenico Fontana im 16. Jahrhundert vollbrachte.



Domenico Fontana

Die schöne und großartige Peterskirche in Rom hat einen weitläufigen ovalen Vorhof. Mitten auf diesem von Kolonnaden gesäumten Platz ragt wie eine riesige Nadel ein einzelner Obelisk empor, eine vierkantige Steinsäule, die oben in einer Spitze endet.

Der Obelisk ist 25,5 Meter hoch und wiegt 489000 Kilopond. Diesen schweren Koloss hat Fontana im Jahre 1586 an dieser Stelle aufgerichtet.

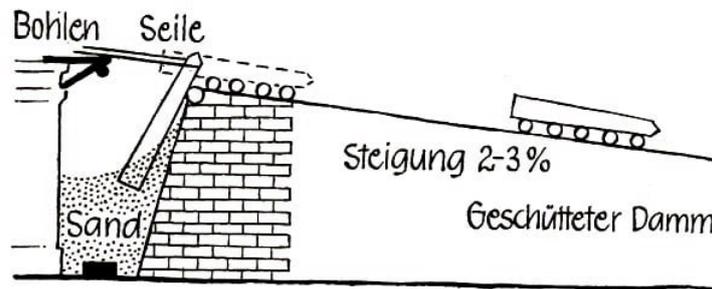
Ehe wir erfahren, mit welchen Mitteln er das vermochte, wollen wir die bewegte Geschichte dieses Obelisken kennenlernen.

Er ist uralte, fast so alt wie die Pyramiden. Einst stand er auf der anderen Seite des Mittelmeeres, unweit des Nilstromes in der ägyptischen Priesterstadt Heliopolis. Ägyptische Sklaven haben ihn aus einem einzigen Steinblock zurechthauen müssen.

Damals ließen sich die ägyptischen Herrscher viele dieser sonderbaren Denkmäler in ihren Städten aufstellen. Wie die Sklaven es fertigbrachten, die tonnenschweren Steinsäulen aufzurichten, ist bis heute nicht endgültig geklärt. Unsere Abbildung zeigt eine von mehreren Vermutungen.

Die Sklaven mussten den Obelisken zunächst über eine schiefe Ebene in die Höhe rollen.

Wenn die Säule wie ein Waagebalken auf der oberen Kante lag, kippten sie ihn auf eine Sandschüttung. Danach schaufelten sie den Sand fort.



So haben die ägyptischen Sklaven, da sie keine Maschinenkräfte kannten, wahrscheinlich die schweren Obelisken aufgerichtet

Der Obelisk richtete sich dabei allmählich auf, bis endlich seine Grundfläche auf dem schon fertigen Sockel zu stehen kam. Dieser Obelisk stand über 1000 Jahre lang in Heliopolis an seinem Platz.

Er überdauerte den Verfall des ägyptischen Königreiches und die langen Jahre der Fremdherrschaft. Dann kam die Zeit der römischen Kaiser, und Ägypten wurde eine römische Provinz.

Die seltsamen, oft mit geheimnisvollen Schriftzeichen bedeckten Steindenkmäler erregten die Besitzgier der römischen Herrscher. Viele Obelisken wurden auf die Reise über das Mittelmeer geschickt, um die Hauptstadt des mächtigen Kaiserreiches zu schmücken. Aber den Obelisken aus Heliopolis, der außergewöhnlich groß und schwer war, ließ man vorläufig noch dort stehen.

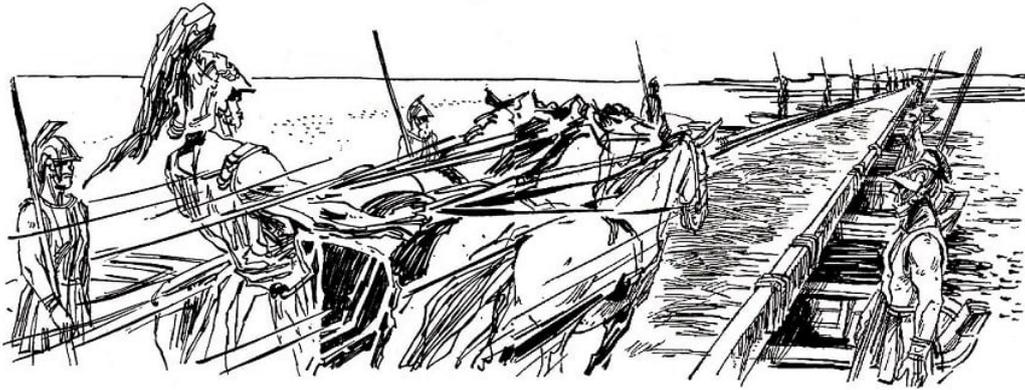
Nach Beginn unserer Zeitrechnung, um das Jahr 40, regierte in Rom der Kaiser Caligula - ein maßloser Verschwender, der sich die tollsten Pläne in den Kopf setzte und sie auch rücksichtslos ausführte. Noch ehe er die Kaiserkrone trug, vollbrachte er bereits eine wahnwitzige Tat.

Als Sohn des Kaisers Tiberius konnte er es sich leisten, die meiste Zeit in Bajä, einem römischen Kaiserbad, zu schwelgen und dort den reichsten Luxus zu genießen. Da kam ihm etwas zu Ohren, was ihn in helle Raserei versetzte. Sein Vater hatte höhnend geäußert:

"Gajus Caligula wird ebensowenig Kaiser werden, als über den Meerbusen von Bajä seines Rennwagens Pferde laufen!"

Kaum hatte Caligula diese Mitteilung vernommen, da wusste er schon, wie er seinem Vater ein Schnippchen schlagen konnte. Er ließ eine Flotte von vielen Hundert Lastschiffen zusammenziehen und befahl, Schiff neben Schiff zu einer langen Reihe quer über den Meerbusen hinweg zu verankern. Die Schiffe ließ er mit Holzbohlen belegen und dann Erde daraufschütten.

Als diese Riesenarbeit beendet war, führte eine fünfeinhalb Kilometer lange Straße, an beiden Seiten von Meerwasser umspült, von Bajä bis zu dem Ort Molo am anderen Ufer.



Auf dieser Straße zog Caligula einmal hoch zu Ross und ein anderes Mal mit einem Kriegswagen hin und her. Damit hatte die kostspielige Straße ihren Zweck erfüllt und konnte wieder abgetragen werden!

Tiberius starb im Jahre 37, und Caligula bestieg den Thron. Er hatte es sofort auf den großen Obelisken abgesehen und gab Befehl, ihn nach Rom zu holen. Dazu musste eigens ein Schiff gebaut werden. Es konnte 2500 Tonnen laden und galt als ein Wunderwerk der Technik.

Der Stein wurde unbeschädigt nach Italien gebracht. 20000 Sklaven richteten ihn in Rom vor dem Zirkus auf, und Caligula widmete ihn dem Kaiser Julius Cäsar. Noch heute heißt der Obelisk deshalb im Volksmund "Julia".

Bald darauf starb Caligula eines gewaltsamen Todes; ein Offizier seiner Garde ermordete ihn.

Der Obelisk jedoch stand wiederum jahrhundertlang an einem schönen Platz. Er sah die Menschenmassen, die zu den Zirkusspielen Neros strömten, sah Rom in Flammen aufgehen, sah die plündernden Germanen in Rom wüten.

Dann, im 15. Jahrhundert, ließen die Päpste die große Peterskirche erbauen. Dadurch hatte aber der kostbare und schöne Stein einen verdeckten Standort erhalten. Man hegte den Plan, den Obelisken auf den Vorplatz der Peterskirche zu versetzen, damit er dort besser zur Geltung käme.

Aber wie sollte man das bewerkstelligen? Niemand wusste, wie die Römer damals den Stein aufgerichtet hatten, und so wagte man sich lange Zeit nicht an diese Aufgabe heran. Wie leicht konnte der Stein bei unsachgemäßer Arbeit stürzen, dabei zerbrechen oder gar Menschen erschlagen!

Dem Architekten Domenico Fontana ließ dieses Problem keine Ruhe. Es musste doch einen Weg geben, den Riesenstein allmählich und vorsichtig umzulegen, um ihn dann an seinem neuen Standort wieder aufzurichten!

Eines war Fontana ohne weiteres klar; mit den Tretkranen war das nicht zu schaffen, eher schon mit Flaschenzügen. Aber wie viele müsste er dazu haben? Der Stein wog fast 10000 Zentner!

Würde er 40 Flaschenzüge einsetzen, dann hätte jeder einzelne 250 Zentner zu tragen, eine Last, die immer noch groß genug war. Aber diese 40 Flaschenzüge mit ihren vielen Seilen und Rollen konnten nicht von selbst in der Luft hängen; sie mussten über dem

Obelisken befestigt werden. Dazu würde ein Gerüst nötig sein, ein sehr stabiles Gerüst sogar, das die gesamte Last würde aufnehmen können.

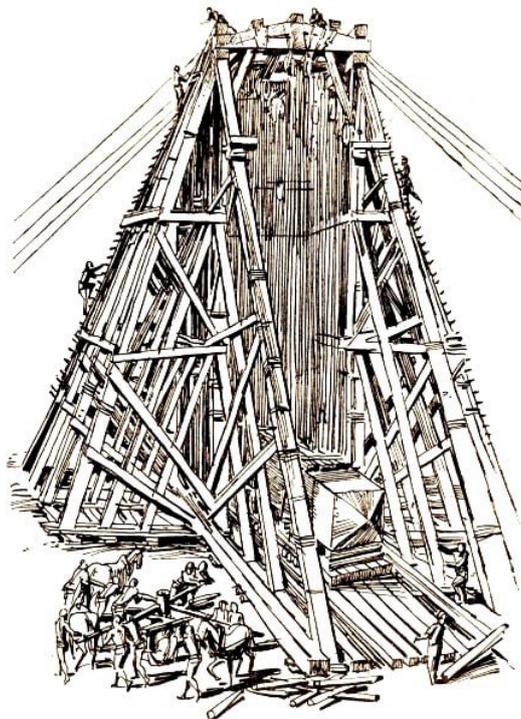
Je mehr Fontana diesem Gedanken nachhing, um so deutlichere Gestalt nahm sein Plan an. Schließlich unterbreitete er dem Papst einen fertig ausgearbeiteten Vorschlag, der alle Einzelheiten enthielt. Der Papst genehmigte diesen Plan.

Bald darauf setzte um den Obelisk eine emsige Tätigkeit ein. Arbeiter richteten ein starkes Holzgerüst auf und hängten 40 Flaschenzüge an die dicken Querbalken. Rings um den Obelisk verteilt wurden 40 feste Holzstämme in das Erdreich gerammt und dann mit langen Querhölzern versehen. Auf diese Weise entstanden Göpel.

Zu jedem dieser Göpel zog man über Führungsrollen das Seil eines Flaschenzuges, denn Fontana wollte die vielen Seilstränge mit Hilfe der Göpel einziehen lassen. Der Platz sah jetzt aus, als habe eine Riesenspinne um das Holzgerüst ihr Netz gelegt, so viele Seile spannten sich kreuz und quer über den Boden.

Doch in diesem scheinbaren Durcheinander herrschte eine wohldurchdachte Ordnung. Fontana hatte jeden Flaschenzug und jeden Göpel mit einer Nummer versehen lassen, damit er die Arbeit gut übersehen und anleiten konnte. Die Seile mussten ja alle gleichmäßig stark eingezogen werden, damit keiner der Stränge überlastet wurde und etwa riss.

Es lässt sich denken, dass viele Menschen zusammenströmten, um dieses seltene Schauspiel mitzerleben. Doch der Platz wurde von einem Hauptmann und seinen Häschern abgeriegelt.



Da die Menschen sich an der Absperrung drängten, verbot man bei schwerer Strafe, irgendwelchen Lärm zu machen, damit die Arbeit nicht gestört würde.

Am 30. April 1586, zwei Stunden vor Tagesanbruch, mussten die Arbeiter in die Kirche

gehen und eine Messe anhören, damit ihnen die Arbeit mit "Gottes Hilfe" gelänge. Dann schritten alle an ihre Plätze. An jedem Göpel standen sechzehn kräftige Männer, zwei Pferde und zwei Aufseher.

Insgesamt war also die vereinte Kraft von 640 Männern und 80 Pferden bereit, den Obelisken zu heben.

Von einem erhöhten Ort erklang ein Trompetenstoß. Das war das verabredete Signal. Alle Männer spannten sich vor die Göpel, die Treiber peitschten auf die Pferde ein, und so begann man, die 40 Seilstränge einzuziehen. Bei der ersten Bewegung knackte es im Gerüst, weil alle Hölzer durch das große Gewicht zusammengedrückt wurden. Die Balken hielten jedoch diese Belastung aus.

Fontana stand auf dem Gerüst und überprüfte fortwährend die Rollen und Seile. Wenn er bemerkte, dass irgendwo zu kräftig oder zu schwach gezogen wurde, ließ er eine Glocke anschlagen.

Daraufhin musste sofort an allen Göpeln mit der Arbeit eingehalten werden. Fontana, der sich unter den nummerierten Rollen und Göpeln leicht zurecht fand, rief den Aufsehern durch ein Sprachrohr zu, welche Seile angezogen oder nachgelassen werden mussten.

Auf ein erneutes Trompetensignal hin nahmen alle die Arbeit wieder auf, die Menschen und die Pferde.

Nach vielen Stunden hatte man auf diese Weise den Obelisken um 60 Zentimeter gehoben. Jetzt konnten die Arbeiter eine lange stabile Schleife, die auf Walzen rollte, unter den Stein schieben. Man ließ den Obelisken dann wieder hinab und legte ihn in tagelanger Arbeit vorsichtig um. Als er endlich mit seiner ganzen Länge auf der Schleife ruhte, schossen Mörser und Kanonen zum Zeichen der Freude viele Salutschüsse ab.

Die Volksmenge, die die ganze Arbeit begierig beobachtet hatte, brach in Jubelrufe aus und geleitete den Architekten unter Trommelwirbel und Trompetengeschmetter nach Hause.

In den folgenden Tagen wurde die Schleife mit dem Obelisken an dessen neuen Standort vor die Peterskirche gerollt. Das Holzgerüst mit den Flaschenzügen musste hier von neuem aufgestellt werden. Auch die Göpel verteilte man auf den ganzen Platz.

Wieder strömten die Menschen in Scharen herbei. Geschäftstüchtige Bürger hatten in aller Eile Zuschauertribünen zimmern lassen; andere verkauften gute Plätze auf ihren Balkonen und Häuserdächern.

Diesmal, beim Aufstellen des Steines, arbeitete Fontana mit 800 Männern und 140 Pferden. Das Unternehmen verlief ohne Zwischenfälle; bei Sonnenuntergang stand der Obelisk aufrecht.

Alle Geschütze Roms donnerten Freudensalut, und am Abend liefen alle Trompeter und Trommler der Stadt vor dem Hause Fontanas zusammen, um ihm zu huldigen.

So gelangte die "Julia" an ihren heutigen Standort. An ihrem Fuße wurde eine Bronzetafel angeschlagen, die die Nachwelt an jene großartige technische Leistung des Domenico Fontana erinnert.

## 5 Einer Kraft auf der Spur

### 5.1 Ein Mann zeichnet die Zukunft

Im Louvre, dem einstigen Königsschloss von Paris, das jetzt eine der größten Kunstsammlungen der Welt birgt, hängt ein Ölgemälde von unschätzbarem Wert. Es zeigt das Bildnis einer Florentiner Bürgerin. Man sagt von ihr, sie trage auf den Lippen ein rätselhaftes Lächeln.

Es ist die "Mona Lisa", und gemalt wurde sie vor 450 Jahren von Leonardo da Vinci. Dieses eine Werk allein hätte ausgereicht, den italienischen Künstler unsterblich zu machen. Aber Leonardo war nicht nur Maler, er war Architekt, Bildhauer, Ingenieur, Anatom, Techniker und Erfinder in einem.

Er wurde am 15.4.1452 in Vinci geboren. Schon als Knabe arbeitete er in der Werkstatt eines Meisters, und mit 20 Jahren nahm ihn bereits die Malergilde von Florenz auf.

Leonardo malte, aber das allein befriedigte ihn nicht. Die Natur bot so viele Rätsel! Wohin Leonardo auch sah, überall lockten Geheimnisse und weckten seinen Forscherdrang. Er malte den Menschen, aber schon reizte es ihn, einen Blick in das Innere des menschlichen Körpers zu tun. Was verbarg sich dort hinter der glatten Haut?

Die allmächtige Kirche untersagte bei strenger Strafe das Sezieren von Leichen. Leonardos Wissensdurst war zu groß; er trotzte diesem Verbot. Mit dem Seziermesser legte er das Innere des menschlichen Körpers frei. Er studierte die Organe und zeichnete genau auf, wie die Knochen und Muskeln beschaffen sind.



Leonardo da Vinci

Bei dieser Arbeit erkannte Leonardo, dass die Natur die wahre Lehrmeisterin des Menschen ist. Man konnte alle ihre Geheimnisse lüften, wenn man sie nur gründlich beobachtete. Und zu beobachten gab es genug. Leonardo sah die Vögel am Himmel fliegen, und schon packte ihn die Neugier.

Wie vermochten sie das? Konnte man nicht ihren Flug nachahmen?

Seit Jahrhunderten träumten die Menschen davon, erfanden Märchen und Sagen über fliegende Menschen. Leonardo aber träumte nicht und ersann keine Geschichten. Er ging, wohl als erster Forscher, mit wissenschaftlichem Ernst an diese Aufgabe heran. In langen gewissenhaften Beobachtungen studierte er den Vogelflug und verfertigte darüber zahllose Zeichnungen. Er entwarf mehrere Flugmaschinen und erfand sogar einen Fallschirm.

Man müsste viele Bände füllen, wollte man alle Ideen und Versuche Leonardos beschreiben. Es gab kein technisches Problem, das ihn nicht fesselte, und kaum ein Gebiet, auf dem er nicht Bescheid wusste. Davon zeugen seine vielen Entwürfe.

Nach seinem Tode im Jahre 1519 hinterließ er über 5000 Handschriftenblätter, bedeckt mit Zeichnungen über Zeichnungen. Man sieht darauf Maschinen aller Art: Hebewerke, automatische Spinnmaschinen, Schöpfwerke, Walzwerke, Flugapparate, Bagger, Schleusen, Kanäle, Brücken, Wasserturbinen, Unterwasserfahrzeuge, Taucheranzüge, Panzerschiffe, Verteidigungsanlagen und Stadtpläne mit unterirdischen Straßen.

Neben jeder Zeichnung steht eine mit zierlicher Handschrift abgefasste Beschreibung. Als man sie lesen wollte, stieß man auf Schwierigkeiten.

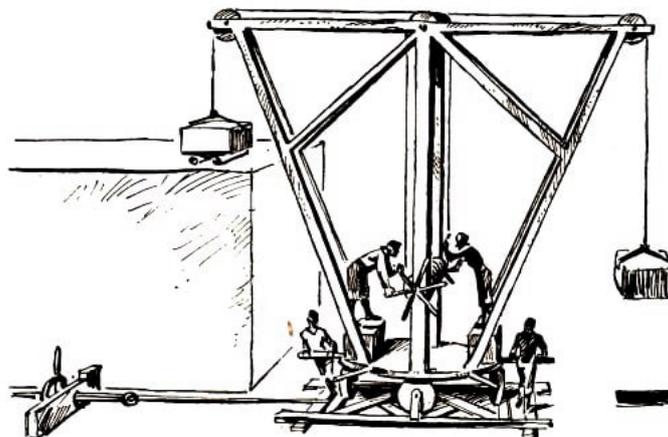
Die von Leonardo verwendeten Schriftzeichen kannte man nicht. Hatte er sich einer Geheimschrift bedient? Schließlich entdeckte man die Lösung:

Stellte man neben der Textstelle senkrecht einen Spiegel auf, so erschien im Spiegelbild eine lesbare Schrift. Leonardo hatte also alle Beschreibungen in Spiegelschrift abgefasst.

Unter den vielen Entwürfen Leonardos befindet sich auch ein interessanter Baukran. Der Erfinder wollte mit dieser Maschine möglichst zeitsparend, also rationell arbeiten. Leonardo hatte nämlich folgendes beobachtet: Ein Kran setzt seine Last ab und muss dann zurückschwenken, um die nächste Last aufnehmen zu können. Dieses unbelastete Zurückschwenken, so folgerte Leonardo, ist vergeudete Zeit und Kraft. Er überlegte, wie man diesen Mangel beseitigen könne und kam auch zu einer Lösung.

Der von Leonardo entworfene Kran besitzt zwei Ausleger mit zwei Lastseilen. Sie werden beide von einer gemeinsamen Haspel aufgewunden; aber sie sind so angeordnet, dass sich jeweils ein Lashaken senkt, wenn der andere hochgezogen wird.

Während ein Arbeiter noch die emporgehobene Last vom Seil löst, kann ein anderer Arbeiter bereits die nächste Last am zweiten Lashaken befestigen. Dann wird diese Last gehoben, die Ausleger schwenken um 180 Grad auf ihrer gemeinsamen Drehscheibe, und schon ist wieder ein freier Ausleger zur Stelle, um eine neue Last aufzunehmen. Bei diesem Kran gibt es also keinen Leerlauf; mit jedem Schwenken verrichtet er einen Arbeitsgang.



Leonardo da Vincis Drehkran mit doppeltem Ausleger

Interessant ist auch die Anlage der Drehscheibe, die auf vier Rollen läuft. Ähnlich sind unsere modernen Drehscheibenkrane konstruiert.

Es ist nicht bekannt, ob Leonardos Kran wirklich gebaut wurde oder ob er, wie fast alle seine Konstruktionen, nur Entwurf bleiben musste.

Leonardo war gezwungen, ein unruhiges Wanderleben zu führen, ständig war er von der Gunst und Laune der Fürsten abhängig, ewig hatte er gegen Verständnislosigkeit zu kämpfen. Wie oft musste er aus diesen Gründen seine kühnen technischen Ideen begraben!

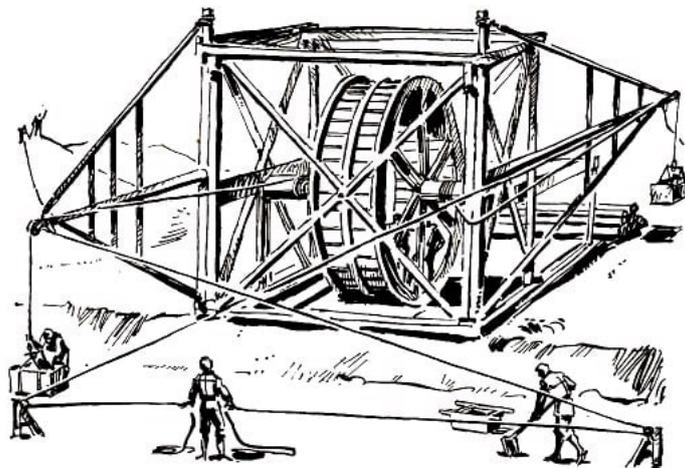
So galt sein größter Plan einem Arnokanal. Er sollte Florenz mit den Städten Prato, Lucca und Pisa verbinden und darüber hinaus weite Gebiete mit dem lebensnotwendigen Wasser versorgen. Zunächst scheute man sich, die hohen Kosten für dieses Unternehmen aufzubringen.

Aber dann sah man ein, dass der geplante Kanal eine große strategische Bedeutung haben würde. Daraufhin bekam Leonardo im Jahre 1503 den Auftrag, genaue Baupläne auszuarbeiten.

Leonardo war sich bereits über alle technischen Einzelheiten im klaren, sie brauchten nur noch aufs Papier gebracht zu werden. Er wusste, dass er für den Bau dieser Wasserstraßen besondere Spezialmaschinen brauchte, leistungsfähige Bagger, mit denen man das Kanalbett recht schnell ausheben konnte. Er entwarf gleich mehrere derartige Maschinen. Diese Bagger waren im Grunde genommen große, gut durchdachte Krananlagen.

Sehen wir uns einen Kanalbagger Leonardos näher an!

Auf dem Gelände steht ein wuchtiges Krangerüst. Es ist mit einem hohen Tretrad und zwei Auslegern versehen. In dem Rad müssen mehrere Leute gehen. Dadurch werden gleichzeitig an beiden Auslegern zwei mit Sand gefüllte Baggerkästen gehoben. Dann schwenkt man die Ausleger und schüttet den Sand zu beiden Seiten der Maschine auf das Gelände.



Ein von Leonardo da Vinci entworfener Kanalbagger

Auf der rechten Seite der Zeichnung sehen wir einen Arbeiter mit einer Hacke. Vor ihm steht ein tragbarer Kasten. Leonardo beschrieb, wie diese Geräte benutzt werden

sollten. Außerdem gab er genau an, welche Arbeitsleistung sein Bagger haben werde.

Arbeiter sollten mit Hacken die Erde loshauen und in die Tragkästen schütten. War ein Kasten gefüllt, so musste er zum Baggerkasten getragen werden. Leonardo berechnete, dass man mit der Hacke 12,5 Kilogramm Erde loshauen könne. Die Tragkästen bemmaß er so, dass sie sechs Hacken Erde, also 75 Kilogramm, aufnehmen konnten.

In einen Baggerkasten wiederum ließ sich die Erde von 20 Tragkästen schütten; das sind 1500 Kilogramm. Da nun zwei Baggerkästen vorhanden waren, konnten in einem Arbeitsgang beim Schwenken beider Ausleger 3000 Kilogramm Erde gefördert werden.

Auch dieser Entwurf verrät, wie wohlüberlegt Leonardo an seine technischen Aufgaben heranging. In monatelanger, angestrenzter Kleinarbeit füllte er Blatt um Blatt mit Zeichnungen und Berechnungen. Er stellte einen genauen Plan auf, der alle Einzelheiten für den Kanalbau enthielt und entwarf dazu die erforderlichen Maschinen, Schleusen und Brücken.

Schließlich konnte er die fertigen Pläne einreichen. Man prüfte und prüfte, genehmigte schließlich das Ganze; aber noch ehe die Arbeiten beginnen konnten, erlosch das Interesse der Auftraggeber, und bald sprach man nicht mehr davon.

So ähnlich erging es Leonardo mit fast allen seinen Plänen. Woran lag das? Waren seine Ideen Phantastereien?

Alles andere als das. Sie sind inzwischen allesamt Wirklichkeit geworden, allerdings lange nach seinem Tode, erst im 19. und 20. Jahrhundert. Als Leonardo noch lebte, wurde er von vielen Menschen nicht verstanden.

Manche lachten ihn sogar aus, wenn er Flugmaschinen, Tauchboote oder unterirdische Straßen plante. Kann man es den Zeitgenossen Leonardos verübeln, dass sie sich so verhielten?

Unter Leonardos Zeichnungen finden wir die eines Wagens, der ohne Zugtiere fahren sollte. Man hat nie im Ernst daran gedacht, diese Erfindung zu verwirklichen.

Was sollen wir mit so einem Spielzeug, wird man gedacht haben; besitzen wir nicht genug schnelle und kräftige Pferde, die wir vor unsere Wagen schirren können?

Es lag also noch kein Grund vor, einen selbstfahrenden Wagen zu bauen, keine zwingende Notwendigkeit.

Das gleiche trifft auch für viele andere Entwürfe Leonardos zu; sie wurden noch nicht gebraucht.

Doch nehmen wir an, Leonardo sei ein steinreicher Mann gewesen, der es sich hätte leisten können, die vielen von ihm entworfenen Maschinen bauen zu lassen! Er hätte die meisten von ihnen und gerade die wichtigsten nicht in Bewegung setzen können.

Dazu fehlte ihm eine starke Antriebskraft, wie sie beispielsweise der Verbrennungsmotor liefert. So wollte er eine seiner Flugmaschinen mit Federkraft bewegen. Auch sein selbstfahrender Wagen sollte mit einem kräftigen Federwerk ausgerüstet werden.

Aber wie umständlich wäre eine Fahrt mit diesem Federauto verlaufen!

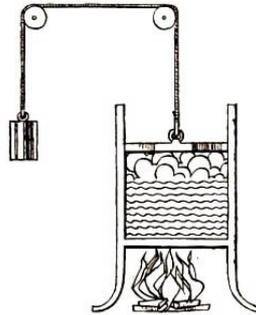
Man hätte, schwitzend vor Anstrengung, die starke Feder spannen müssen, aber nach

kurzer Fahrt wäre der Wagen wieder stehengeblieben.

Es gab also für solche Antriebsmechanismen keine Zukunft. Dass Leonardo sie entwarf, offenbart nur, wie verzweifelt er nach einer neuen Antriebskraft suchte. Dabei kam er auch tatsächlich einer starken Kraftquelle auf die Spur, die schon seit langem bekannt, aber noch völlig ungenutzt war: dem Dampf.

Leonardo wusste, dass der Dampf große Kräfte entwickeln kann. Er hatte eine sonderbare Erfindung kennengelernt, nämlich eine Dampfkanone.

Dieses Geschütz schleuderte unter lautem Donner eine eiserne Kugel über einen Kilometer weit, und das allein durch die Kraft des Dampfes. Konnte man diese Kraft nicht auch zu anderer Arbeit zwingen?



Leonardo da Vinci entwarf bereits diesen Dampfzylinder mit Kolben

Leonardo nahm Papier und Stift und zeichnete ein hohes rundes Gefäß, einen Hohlzylinder. In diesen Zylinder sollte etwas Wasser gegossen werden. Dann dachte sich Leonardo eine kreisrunde, dicke Platte, einen Kolben. Dieser musste ganz genau in den Zylinder passen und sollte auf dem Wasser liegen.

Leonardo hatte folgenden Gedanken: Zündete man unter dem Zylinder Feuer an, dann musste das Wasser nach kurzer Zeit sieden. Dabei würde Dampf entstehen. Der Dampf möchte entweichen, sich ausdehnen, jedoch der Kolben hindert ihn daran; er drückt mit seinem Gewicht auf den Dampf. Aber der Dampf ist stärker. Er hebt den Kolben in die Höhe; er hebt eine Last; er arbeitet.

Das war eine geniale Idee. Leonardo, wiederum seiner Zeit weit voraus, wollte Kolben und Zylinder benutzen, um den Dampf arbeiten zu lassen.

Aber noch war es nicht soweit, dass dieser Gedanke Früchte tragen konnte. Er sollte noch lange Zeit heranreifen müssen. Leonardos Ideen und Erfindungen blieben vorerst Träume.

## 5.2 Kraft aus der Luft

In der Mitte des 17. Jahrhunderts erlebten die Bewohner Magdeburgs eine Sensation um die andere. Ihr Bürgermeister Otto Guericke<sup>11</sup> zeigte mit seinen gläsernen und metallenen Kugeln die unwahrscheinlichsten Sachen.

Wer das nicht mit eigenen Augen sah, wollte es nicht glauben.

---

<sup>11</sup>Guericke wurde 1666 vom Kaiser geadelt

Stets, wenn der Bürgermeister etwas vorführte, benutzte er ein sonderbares Gestell, einen hohen Dreifuß, zu dem ein langer Hebel, Hähne und noch anderes Zauberzeug gehörten. Er nannte das Ganze Luftpumpe.

Eines Nachmittags strömten die Bürger auf den freien Platz vor der Stadtmauer. Dort hatte tags zuvor ein Zimmermann gesägt und genagelt. Jetzt stand ein niedriger, aus kräftigen Balken gefügter Galgen da. An seinem dicken Holzarm hingen zwei Rollen. Ein Seil lief darüber, und an das obere Ende hatte man eine Vielzahl weiterer Seile geknüpft. Man konnte sie gar nicht alle zählen; es mochten 40 oder 50 sein. Was hatte das zu bedeuten?



Otto von Guericke

Guericke stand gelassen neben dem Gerüst. Seine Gehilfen schraubten an den Galgenmast ein senkrecht stehendes, hohles Zylindergefäß, und Guericke setzte in diesen Zylinder einen Kolben, von dem eine eiserne Kolbenstange aufragte. Er verband die Stange mit dem herabhängenden einzelnen Seilende.

Die Zuschauer hatten sich in respektvoller Entfernung aufgestellt; sie vermochten ihre Neugier kaum noch zu bezähmen. Da wandte sich der Bürgermeister an sie und bat, es mögen 50 kräftige Männer zur Hilfe kommen. Zuerst traten nur die mutigsten vor, aber bald waren genügend Männer und Burschen zur Stelle.

Guericke wies sie an, sich vor dem Galgen aufzustellen. Jeder sollte eines der vielen Seile ergreifen, aber zunächst noch locker lassen. Dann ergriff er die Kolbenstange und zeigte, dass sich der Kolben mühelos in den Zylinder schieben ließ.

"Jetzt sachte an den Seilen ziehen!" befahl Guericke.

Das taten die Männer, und sogleich hob sich der Kolben wieder bis zum Rand des Zylinders.

"Nun, war das eine schwere Arbeit?" erkundigte sich Guericke schmunzelnd.

Die Burschen lachten. Der Bürgermeister machte Witze. Um den Kolben im Zylinder hochzuziehen, hätte es nicht der 50 Männer bedurft; dazu würde die Kraft eines fünfjährigen Mädchens reichen. Aber Guericke beruhigte sie, das Experiment habe ja noch nicht begonnen.

Auf sein Zeichen hin sollten sie sich alle mit ganzer Kraft an die Seile hängen und ja nicht zulassen, dass der Kolben in den Zylinder gleite. Die Burschen spuckten in die Hände. Das wäre gelacht!

Guericke nahm aus einem Tragkorb eine kürbisgroße Glaskugel, die jedoch, wie jeder sehen konnte, völlig leer war. Die Kugel hatte einen Stutzen mit einem Verschluss-hahn. Auch der Zylinder hatte einen derartigen Stutzen, und Guericke verband beide

miteinander. Dann hob er die Hand.

"Achtung!" rief er, und gleichzeitig öffnete er den Hahn an der Glaskugel.



Es erscholl ein fürchterliches Zischen und Fauchen. Die Männer hielten die Seile krampfhaft mit beiden Fäusten umklammert. Sie spürten plötzlich, dass jemand unwiderstehlich an den Seilen zog. Sie stemmten die Beine gegen die Erde, sie keuchten, und ihre Halsadern traten dick hervor. Mit aufgerissenen Augen starrten sie auf den Kolben, der tiefer und tiefer in das Zylindergefäß einsank.

Die Männer sahen sich stumm und fassungslos an. Guericke lächelte und klopfte einigen auf die Schulter. Sie hätten ihr Bestes getan, beruhigte er sie, aber er habe ja gewusst, dass es so kommen würde.

Guericke hatte vor, noch einen zweiten Versuch zu zeigen. Er wusste am besten, dass er weder hexen konnte noch mit dem Teufel im Bunde stand, wie viele seiner Bürger vielleicht vermuteten.

Guericke war zwar Bürgermeister und Diplomat, aber gleichzeitig Physiker. Er forschte nach noch unbekanntem Kräften der Natur. Was er eben gezeigt hatte, war für ihn gar nichts Geheimnisvolles mehr, denn diesem Versuch waren unzählige andere vorausgegangen.

Guericke hatte erkannt, dass die Luft, die ihn umgab und die er einatmete, ein Körper war; ein Gas zwar, aber dennoch ein Körper. Folglich musste sie auch ein Gewicht haben. Das erschien unglaublich. Man spürte doch nichts davon!

Guericke war anderer Meinung. Er baute sich eine Pumpe und saugte die Luft aus einer gläsernen Hohlkugel, die er mit einem Hahn verschloss.

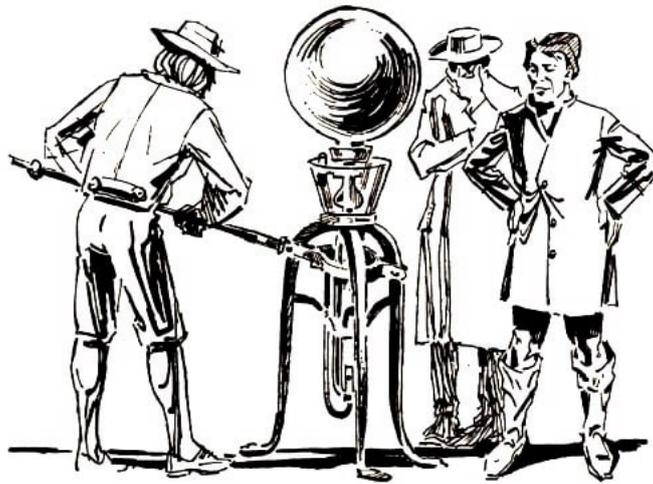
Dann stieg er mit der leeren Kugel auf einen Berg und öffnete den Hahn wieder. Zischend strömte die Luft ein. Guericke stieg wieder hinab, und, am Fuße des Berges

angelangt, öffnete er den Hahn erneut. Noch einmal zischte Luft in die Kugel. Wie konnte das geschehen, da Guericke doch schon auf dem Berge Luft eingelassen hatte?

Guericke fand die richtige Lösung. Die Luft hat eben ein Gewicht, erklärte er. Eine dünne Luftschicht wiegt allerdings nicht viel, ebenso wie auch ein einzelnes Blatt Papier, das man sich auf die Hand legt, sehr leicht ist.

Aber stapelt man zehn, hundert oder tausend Blätter übereinander, so ergibt das ein ständig anwachsendes Gewicht und einen immer stärkeren Druck auf die Hand.

Die Erde ist von einer sehr hohen Luftschicht eingehüllt. Auch hier nimmt der Druck des Luftgewichtes zu, je höher die Luftschicht über uns ist. Unmittelbar an der Erdoberfläche wirkt dieser Druck am stärksten. Steigt man auf einen hohen Berg, so nimmt die Höhe der Luftschicht über uns ab. Damit wird auch der Gewichtsdruck der Luft geringer.



Nun versteht man, warum die Glaskugel noch Luft aufnehmen konnte. Auf dem Berge war sie unter geringem Druck eingeströmt, unten im Tal aber war der Luftdruck außerhalb der Kugel größer als drinnen: Deshalb strömte noch einmal Luft ein, bis innen und außen ein gleicher Druck herrschte.

Guericke hatte noch mehr festgestellt. Er fand heraus, dass der Luftdruck sehr große Kräfte entfalten kann. Als er einmal eine Kupferkugel leerpumpte, wurde sie wie ein Blatt Papier zusammengeknüllt.

Warum spüren wir den Gewichtsdruck der Luft nicht? Er wirkt nicht nur senkrecht nach unten, wie es bei dem Gewicht eines festen Körpers, eines Papierballens etwa, der Fall ist. In Gasen, also auch in der Luft, breitet sich der Druck nach allen Seiten aus.

Das Gewicht der Luftschicht lastet also nicht nur auf dem Kopf, den Schultern und der ausgestreckten Hand des Menschen, sondern es wirkt ebenso stark auf die Brust, den Rücken und die Fußsohlen. Diesen gleichmäßigen Druck, der uns von allen Seiten einhüllt, sind wir gewöhnt, und deshalb empfinden wir ihn nicht.

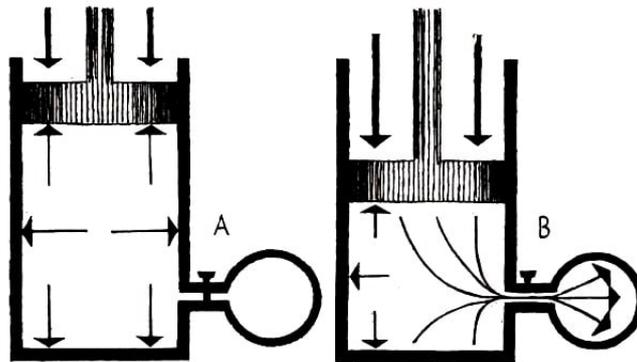
Die Zuschauer vor dem Magdeburger Stadttor konnten sich über das Erlebte lange Zeit nicht beruhigen. Sie warteten ungeduldig auf den zweiten Versuch, der ihnen noch gezeigt werden sollte. Für kurze Zeit wurde ihre Aufmerksamkeit abgelenkt.

Auf der Landstraße näherte sich in schneller Fahrt ein Reisewagen. Der Kutscher zügelte die Pferde, und ein vornehm gekleideter Herr entstieg dem Gefährt. Er drängte sich, gefolgt von einem Diener, rücksichtslos durch die Menschenmenge, bis er in der vordersten Reihe stehen konnte.

Seine kühlen Augen musterten interessiert das Experimentiergerät und die Männer, die daran hantierten.

Die Gehilfen Guerickes nahmen die Glaskugel wieder ab. Sie zeigten, dass sich der Kolben ohne Anstrengung bewegen ließ. Das fünfzigfache Seil wechselten sie gegen ein einfaches aus. Sie knüpften es an die Kolbenstange und führten es über die Seilrollen. An dem herabhängenden Seilstrang befand sich ein Eisenhaken, an den die Männer mit dicken Ketten eine große quadratische Holzplatte hängten. Guericke drückte zur Probe kräftig auf den Kolben, und die Platte wurde vom Erdboden gehoben.

Die Gehilfen schleppten viele schwere Eisenstücke heran und türmten sie auf die Platte. Das ergab ein beachtliches Gewicht von mehreren Zentnern. Diese Last wollte Guericke mit seinem Kolbenzylinder heben. Der Luftdruck sollte die Kraft dazu hergeben.



Guerickes Versuch mit dem Kolbenzylinder und einer luftleeren Kugel

A Der Hahn zur luftleeren Kugel ist noch geschlossen. Innerhalb und außerhalb des herrscht gleicher Luftdruck

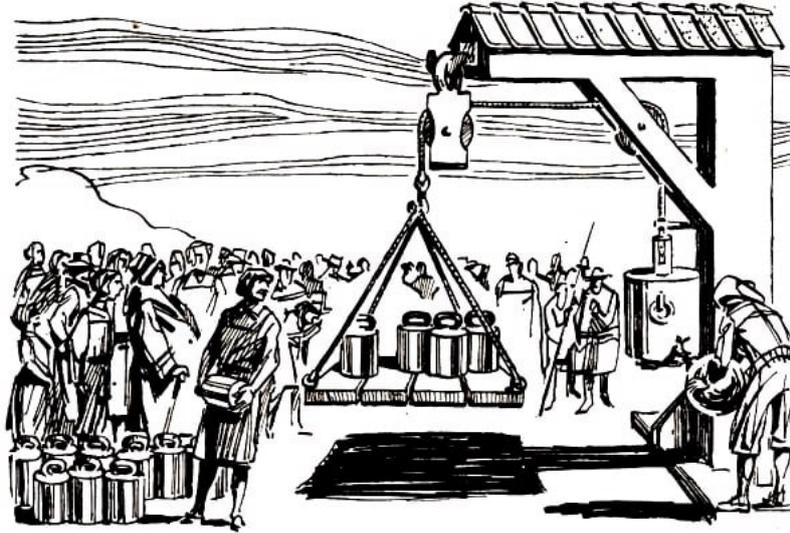
B Der Hahn wurde geöffnet, die Luft strömt in die leere Kugel und der Luftdruck im Zylinder sinkt dadurch ab: Die Außenluft kann den Kolben in den Zylinder drücken

Während die Gehilfen noch arbeiteten, setzte Guericke die große Glaskugel auf die Luftpumpe und bewegte unermüdlich den Hebel. Je weniger Luft die Kugel enthielt, desto schwächer wurde der Luftdruck in ihr. Nach einiger Zeit brach dem Bürgermeister der Schweiß aus allen Poren; er wies einen Gehilfen an, weiterzupumpen. Schließlich, als sich der Pumpenhebel nur noch unter großer Mühe bewegen ließ, verschloss er den Hahn an der Glaskugel.

Er fasste sie vorsichtig und setzte sie an den Stützen des Kolbens. Ehe er den Hahn öffnete, prüfte er noch einmal, ob der Kolben gut im Zylinder saß und ob das Seil straff gespannt war. Schließlich ließ er noch einige Eisenbarren zusätzlich auf die Platte legen.

Unter den Zuschauern herrschte angespannte Stille. Guericke erklärte jetzt, was er vorhabe. Im Grunde genommen wollte er den ersten Versuch noch einmal wiederholen.

Nur solle der Luftdruck diesmal nicht die Kraft von 50 Männern bezwingen, sondern das "gewaltige Gewicht" dieser vielen Eisenstücke.



Der Bürgermeister öffnete den Hahn. Im gleichen Augenblick zischte die Luft, die sich im Zylinder befand, in die luftleere Kugel hinein. Nur noch wenig Luft blieb im Zylinder zurück. Sie füllte zwar seinen gesamten Raum aus, hatte aber nur einen sehr schwachen Druck, viel geringer als der äußere Luftdruck.

So konnte die Außenluft mit aller Gewalt auf den Kolben wirken und ihn, trotz der großen Eisenmasse auf der Gegenseite, tief in den Zylinder hineinschieben. Die schwerbelastete Holzplatte wurde schnell und spielerisch in die Höhe gehoben.

Als der vornehme Fremde sah, dass Guericke sich zum Weggehen wandte, eilte er auf ihn zu und sprach ihn an.

Einige neugierige Magdeburger versuchten, dem Bediensteten zu entlocken, wer der fremde Herr sei und woher er käme. Der Diener gab herablassend spärliche Auskunft. Es sei ein reicher Grubenbesitzer aus dem Sächsischen, in Geschäften: unterwegs und zufällig Zeuge dieser Menschenansammlung geworden.

Der Grubenbesitzer sprach auf den Bürgermeister ein, und schließlich stiegen beide in den Wagen und fuhren durchs Stadttor. Die Bürger standen noch längere Zeit beisammen und besprachen das Gesehene, während die Gehilfen Guericke alle Gerätschaften auf einen Wagen verluden.

In der Stube des Bürgermeisters saßen sich indessen Otto Guericke und der Fremde gegenüber.

"Es ist zum Haareausraufen!" klagte der Grubenbesitzer. "Gerade dort, wo der Berg am ergiebigsten ist, in größerer Tiefe nämlich, da sickert das Grubenwasser in solcher Menge ein, dass meine Knappen bald bis zum Bauchnabel darin stehen. Wenn sie nicht absaufen sollen, muss ich diese Stollen aufgeben. Könnt Ihr Euch vorstellen, wieviel Silber mir dadurch verlorenght?"

Der Bürgermeister hörte höflich zu. Der Fremde erzählte ihm nichts Neues.

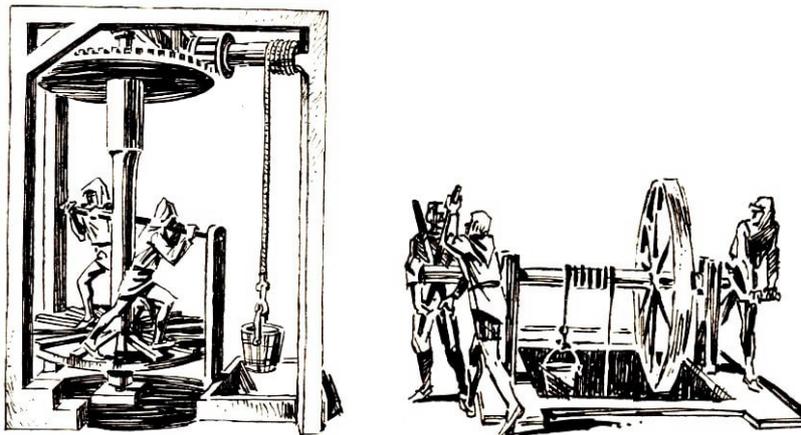
"Ich glaube zu wissen, worum es Euch geht", sagte Guericke. "Ihr seid nicht der einzige, der klagt. Jeder verlangt heute Eisen, Zinn und Silber mehr denn je. Und nun haben die Besitzer der Bergwerke Sorgen. Die Technik hat nicht Schritt gehalten."

"Ja, früher, da gab's diese Sorgen nicht", rief der Fremde aus, "da gingen die Bauern auf eigene Faust los und suchten Erz, das an der Oberfläche lag. Sie brauchten sich nur zu bücken, mit Hacke und Schaufel etwas nachzuhelfen, wenn sie das Erz schürfen wollten. Stießen sie auf Grundwasser, was machte das? Dann gingen sie woanders hin."

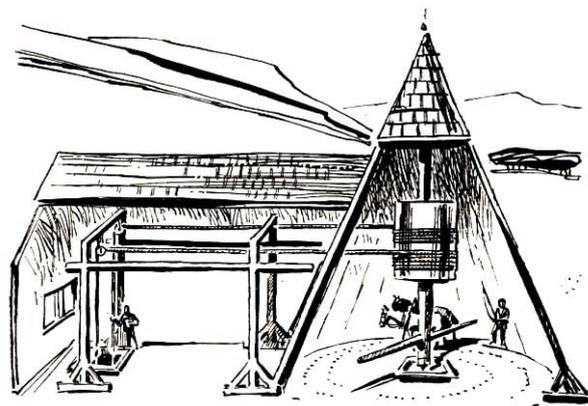
Diese Zeiten sind lange vorbei. Das Erz liegt nicht mehr offen auf dem Hang. Ich muss tiefer und tiefer in den Berg, damit ich überhaupt darauf stoße, geschweige denn mein Brot verdiene."

Guericke musterte den kostbaren goldbestickten Rock seines Gastes, die Stiefel aus feinem Leder und die gepflegten Hände mit den dicken goldenen Ringen. Sein Gegenüber sah nicht aus wie einer, der nur von Brot leben muss. Guericke war davon überzeugt, dass dieser Mann noch nie in die notdürftig erhellte Enge eines Bergwerkstollens hinabgestiegen war.

"Überall ist das Wasser, das verfluchte Wasser!" rief der Fremde erregt, "wenn's das nicht gäbe, wenn man es hinausschaffen könnte - ich würde doppelt, ach, dreimal soviel fördern. Um Abnehmer wäre mir nicht bange."



So förderten die Haspelknechte in pausenloser ermüdender Arbeit das Grubenwasser aus den Bergwerksschächten



Ständig liefen die Pferde im Kreis und hoben das Grundwasser aus den Bergwerkstollen

"Ich glaube", erwiderte Guericke, "Ihr erwartet von mir Hilfe; Hilfe, die ich Euch nicht geben kann."

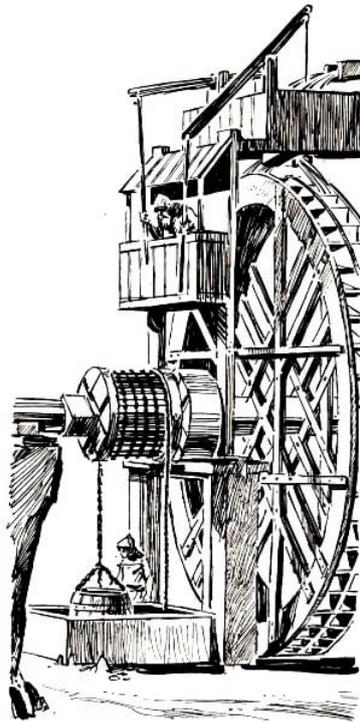
"Aber ich habe mit eigenen Augen gesehen, dass Ihr eine Kraft kennt, die Großes vermag. Das kann Euch reich machen, Guericke! Ich glaube an keinen Hexenspuk. Für mich gilt das, was ich sehe: Tatsachen. Und Tatsache ist, dass Ihr eine neue Naturkraft gefunden habt. Ihr habt sie gezwungen zu arbeiten, eine Last zu heben. Es wäre gelacht, wenn sie uns nicht hülfe, endlich des Grundwassers Herr zu werden."

Er öffnete eine Reisetasche und brachte ein dickes Buch zum Vorschein.

"Seht her! Das ist ein Buch über den Bergbau. Es ist über 100 Jahre alt. Ein gewisser Agricola hat es verfasst. Ein ausgezeichnete Mann, dem wir viel zu danken haben. - Aber hier, seht Euch diese Bilder an!

So heben wir das Wasser auch heute noch aus dem Schacht: Eimerketten, Kannenwerke, Winden mit Muskelkraft, Herr Guericke! Was können die Haspelknechte schon ausrichten?"

"Oder seht Euch diese Göpel an", fuhr er fort, "Göpel, von Pferden gedreht. Wieviel Pferde muss man dafür im Stall zu stehen haben, füttern und striegeln! Was glaubt Ihr, was mich das kostet? Und die Kräfte, die sie hergeben, reichen trotzdem nicht aus."



Das Kehrad war ein Wasserrad, das seine Drehrichtung wechseln konnte; es galt als eine der größten Wasserkraftmaschinen des 16. Jahrhunderts

Der Grubenbesitzer, der sich in Eifer redete, suchte eine bestimmte Seite des Buches. Er reichte den Band Guericke, der das aufgeschlagene Bild mit Interesse betrachtete.

"Diese Maschine ist das Vollkommenste, was wir haben, aber auch sie ist schon ihre 100 Jahre alt."

Guericke sah ein riesiges Wasserrad abgebildet, das auf einer dicken Holzwellen saß. Um die Welle war eine Eisenkette geschlungen, an deren Enden Ledereimer hingen.

"Das Rad misst 11 Meter im Durchmesser", erläuterte der Grubenbesitzer, "wenn Ihr genau hinseht, erkennt Ihr daran zwei Schaufelreihen, die entgegengesetzt gerichtet sind. Der Wasserknecht steht auf dem erhöhten Gerüst; da hat er den besten Überblick. Er kann, wie's not tut, das Wasser abwechselnd auf die rechte oder linke Schaufelreihe fließen lassen.

So kommt es, dass das Rad sich erst rechts- und dann wieder linksherum dreht. Die Kette ist so angeordnet, dass immer ein Eimer in der Tiefe und einer oben ist. Fährt der eine Eimer hinab, so steigt der andere."

"Sehr sinnreich erfunden", meinte Guericke. "Seid Ihr mit dieser Maschine nicht zufrieden? Sie muss doch Beachtliches leisten. Die Eimer sind außergewöhnlich groß; und die Wasserkraft habt Ihr außerdem umsonst."

"Schon, schon." Der Fremde rückte ungeduldig auf seinem Stuhl. "Dieses Kehrrad hebt 30 Zentner, ob Wasser oder Erz. Aber das Antriebswasser muss ich von den Bergbächen herleiten. Dazu brauche ich meilenlange Rinnen, die ständig nachgesehen werden müssen. Und was mache ich im Winter, wenn das Wasser einfriert? Dann steht die Maschine still."

Guericke reichte das Buch zurück.

"Pumpen brauchtet Ihr im Schacht; große Pumpen wären das gegebene. Aber eine starke Kraft müsste sie antreiben. Und dazu benötigt Ihr wiederum eine Maschine, die diese Kraft liefert."

Der Fremde nickte. Guericke fuhr ruhig fort: "Ihr seht, Eure Sorgen sind mir nicht neu. Aber ich kann Euch eine solche Maschine nicht geben. Mein Apparat, den Ihr gesehen habt, ist nur ein Versuchsgerät, nichts weiter."

"Aber Ihr habt doch die große Kraft des Luftdrucks bewiesen", beharrte der Grubenbesitzer. "Ihr kennt sie, beherrscht sie. Warum wollt Ihr sie nicht nutzen, um reich zu werden?"

Guericke lächelte.

"Ich bin Forscher und kein Kaufmann. Aber das ist es nicht. Ich sage ja keineswegs, dass ich Euch nicht helfen will; ich meine vielmehr, dass ich Euch nicht helfen kann. Seht, wenn Euch eine Maschine wirklich Nutzen bringen soll, dann muss sie ununterbrochen arbeiten können.

Man müsste also den Zylinder, den Ihr gesehen habt, immer wieder aufs Neue auspumpen. Aber wer sollte das tun? Pumpenknechte? Pferdegepöhl? Wasserräder? - Die wollt Ihr ja gerade abschaffen! Ihr seht, wir drehen uns im - Kreise."

Die beiden Männer diskutierten noch lange, ohne zu einem Ergebnis zu kommen. Schließlich erhob sich der Gast. Guericke sah ihm seine Enttäuschung an, Er geleitete ihn zum Wagen. Nachdenklich sah er dem Gefährt nach, das über die holprige Straße davonrollte.

Wie ungeduldig diese Herren wurden, wenn es um ihren Gewinn ging. Dann wären sie

sogar bereit, einen Beutel Goldtaler auf den Tisch zu legen: Hier hast du Geld, nun erfinde schnell, was wir brauchen! Aber andererseits - diese Ungeduld hatte auch ihr Gutes. Es würde früher oder später tatsächlich so eine Wundermaschine geben. Guericke besann sich auf seine Arbeit, die in der Studierstube auf ihn wartete, und ging ins Haus zurück.

### 5.3 Feuer und Wasser

Denis Papin schritt ungeduldig im Schlossgarten der landesgräflichen Residenz auf und ab. Der Professor, Franzose von Geburt, wirkte an der Marburger Universität.

Der Landgraf von Hessen hatte seinen Versuchen neugieriges Interesse entgegengebracht und den Wunsch geäußert, sie vorgeführt zu bekommen. Der Wunsch eines Fürsten aber war ein Befehl. Jetzt wartete Papin bereits eine geschlagene Stunde auf den Landgrafen. Er hatte seine Geräte hierherbringen lassen und aufgebaut: Auf einem Eisengestell stand ein schmaler Zylinder, nicht dicker als ein Männerarm.

In dem Zylinder steckte der Kolben. Darüber, an einer waagerechten Stange, hingen zwei Seilrollen. Ein kleiner Bottich mit Wasser stand bereit; und Papins Gehilfe stieß einen Feuerhaken in ein eisernes Kohlenbecken und schürte die Glut. In geziemender Entfernung hatten Diener einige Sessel für die fürstlichen Hoheiten aufgestellt.

Papin blickte besorgt nach den Wolken, die am Himmel aufzogen. Wenn es zu regnen begänne, müsste er seinen Versuch aufgeben. Endlich näherte sich der Fürst, umgeben von einem Schwarm Höflinge.

Papin erwartete den Landesherrn in höfischer Verbeugung. In dieser Stellung musste er verharren, bis ihm der Fürst mit einer Handbewegung gnädig erlaubte, den Versuch zu beginnen.



Denis Papin

Papin fühlte herablassende Blicke auf sich gerichtet. Er sah den Zuschauern in die bornierten, dämmlichen Gesichter und nahm sich vor, sein Experiment mit möglichst einfachen Worten zu erläutern, sonst würde ihn niemand verstehen. Er wies auf sein Gerät und begann mit der Erklärung.

"Mit diesem Apparat, Fürstliche Hoheit, ist es mir möglich, ohne körperliche Anstrengung eine Last zu heben, und zwar dieses Eisenstück. Es wiegt mehr als einen halben Zentner."<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup>Papin benutzte bei seinem Versuch einen Massekörper, der 27 Kilopond schwer war

Zum Beweis hob Papin das Eisenstück etwas an und ließ es auf die Erde plumpsen. Dann zog er den Kolben aus dem Zylinder heraus und zeigte, dass das Gefäß nichts enthielt. Sein Gehilfe schöpfte aus dem Bottich etwas Wasser und schüttete es in den Zylinder.

"Wir haben nur eine geringe Wassermenge in den Zylinder gegossen", erklärte Papin weiter, "der Kolben wird wieder eingeführt und so weit hinabgelassen, bis er die Wasserfläche berührt. Man sieht: Die Kolbenstange verschwindet fast völlig im Zylinder." Der Gehilfe schob das Kohlenbecken unter den Zylinder und schürte das Feuer, bis helle Flammen um das Gefäß schlugen.

"Das Feuer wird das Wasser in kurzer Zeit erhitzen und zum Sieden bringen. Siedendes Wasser aber erzeugt Dampf. Wasserdampf ist ein Gas, wie auch die Luft, die wir einatmen, ein Gas ist."

Einige Höflinge verzogen angeekelt ihre Gesichter, als sei es äußerst unfein, Gase einatmen zu müssen. Papin ließ sich nicht beirren.

"Dieser Dampf findet in dem engen Raum keinen Ausweg. Aber solange das Wasser siedet, entsteht immer mehr Dampf. Schließlich schafft sich der Dampf selbst den Raum, den er braucht: Er hebt den Kolben einfach hoch."

Papin musste etwas warten, ehe das Wasser zu sieden begann. Doch dann summte es hörbar in dem Zylindergefäß, und bald darauf schob sich die Kolbenstange mehr und mehr in die Höhe. Papin trat schnell hinzu und klemmte die Stange mit Hilfe seiner Vorrichtung fest.

"Jetzt ist der Zylinder völlig mit Dampf ausgefüllt", erklärte er. "Ich habe die Kolbenstange befestigt, damit der Kolben zunächst nicht zurückgleiten kann. Alles weitere wird sehr schnell geschehen! Ich darf Euer Gnaden untertänigst bitten, diesem Teil meines Versuchs besonders aufmerksam zu folgen!"



Papin hakte ein Seil an die Kolbenstange und legte es über die beiden Rollen. Es reichte gerade bis zur Erde, wo der schwere Eisenkörper lag.

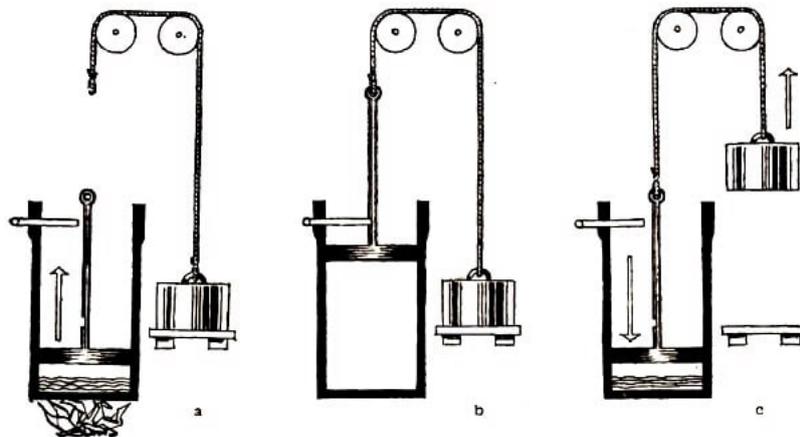
Papin hakte ihn an das Seil. Der Gehilfe zerzte das Kohlenbecken fort, griff nach dem Bottich und schüttete das Wasser mit einem Schwunge gegen den Zylinder. Weiße Dampf Wolken zischten auf; Wassertropfen sprühten. Einige Höflinge fuhren erschrocken auf und flüchteten hinter Hecken und Büsche.

Die Beherzten aber, die auf ihren Plätzen geblieben waren, konnten beobachten, dass Papin den Klemmhebel löste. Sie sahen mit Staunen, wie das große Eisengewicht um mehrere Fuß angehoben wurde und dann in dieser Höhe an dem Seil hängen blieb.

Der Landgraf hatte sich überrascht vorgebeugt. Er winkte dem Professor zu, dass er fortfahren solle.

"Erlaubt mir, Fürstliche Hoheit, dass ich Euch den Vorgang erkläre! Der Dampf hatte vorhin den Kolben gehoben und den ganzen Zylinderraum ausgefüllt. Dann wurde der heiße Zylinder mit kaltem Wasser übergossen. Dadurch kühlte sich der Dampf sofort ab.

Abkühlung aber ist der Tod des Dampfes. Der Dampf wurde wieder vollständig in Wasser zurückverwandelt, er kondensierte. Aber das Wasser benötigte nicht den vielen Raum, den vorher der Dampf brauchte. Und so entstand in dem Zylinder eine Leere." Papin machte eine kurze Pause, um den Zuschauern Zeit zu geben, seine Worte zu verarbeiten. Aber er sah auf den ersten Blick, dass niemand wirklich zuhörte, geschweige denn begriff, was er darlegte.



Papins Versuchsgerät

- a Der Dampf, der im Zylinder entsteht, hebt den Kolben
- b Der Kolben wird befestigt und das Gewicht an die Kolbenstange gehakt. Dann wird der Zylinder durch kaltes Wasser abgekühlt
- c Der Dampf ist bereits kondensiert. Der äußere Luftdruck schiebt den Kolben in den Zylinder und hebt dabei das Gewichtsstück

"In diesem leeren Zylinder, in dem ja nur auf dem Boden etwas Wasser ist und sonst nichts, weder Dampf noch Luft, herrscht ein äußerst schwacher Druck.

Die Luft, die den Zylinder außen umhüllt, hat jetzt eine übermächtige Kraft. Sie würde unter Umständen ein völlig leeres Gefäß sogar zusammenquetschen. Hier aber konnte sie auf den Kolben wirken. Als ich den Klemmhebel löste, drückte die Luft mit Urgewalt

den Kolben in den Zylinder hinein. Ihre Kraft reichte aus, den schweren Eisenklotz ohne Mühe zu heben."

Papin machte eine Verbeugung und trat zurück. Der Landgraf erhob sich und besah die Geräte von allen Seiten. Auch die Herren seines Gefolges wagten sich nun, da nichts mehr zu befürchten schien, an die Maschine heran. Papin hatte sich auf neugierige Fragen vorbereitet. Aber das war gänzlich unnötig; die Höflinge unterhielten sich bereits über andere Dinge.

Der Landgraf war gnädig. "Sehr hübsch, lieber Papin, wirklich! Er hat mir ein vortreffliches Amusement bereitet."

"Diese Versuchsmaschine, Fürstliche Hoheit, ist nur klein", beeilte sich Papin zu erklären, "eine größere könnte weitaus mehr leisten. Ich habe errechnet, dass ein Zylinder von zwei Fuß Durchmesser, drei Fuß hoch, gewaltige Lasten bewältigen könnte. Nach meiner Meinung müsste er in einer Minute über sieben Zentner um drei Fuß anheben."

"So", erwiderte der Landgraf, "sehr passabel, was Er da sagt. Sieben Zentner. Und wozu, denkt Er, kann Er so eine Maschine verwenden?"

"Diese Erfindung kann die Kräfte des Menschen ins Unendliche steigern, Hoheit. Man könnte damit das Wasser aus den Bergwerken heben. Man könnte Vorrichtungen ersinnen, die mit großer Kraft Bomben werfen oder sogar ein Schiff gegen den Wind und gegen den Strom rudern."

"So, so!" Der Landgraf dachte an die prächtigen Wasserkünste, mit denen der König von Frankreich in seinem Versailler Schloss prahlte.

Ludwig XIV. hatte dazu 13 Wasserräder und 235 Pumpen bauen lassen müssen, eine umständliche, ewig lärmende Maschinerie. Vielleicht ließ sich die Erfindung des Professors für solche Wasserkünste verwenden! Vielleicht konnte man damit den französischen König übertrumpfen.

"Gut, gut, lieber Papin, Er wird von mir hören!" Der Landgraf lächelte huldvoll und wandelte mit seinem Gefolge davon. Er ließ einen Professor Papin zurück, der hoffnungsfroh in die Zukunft blickte.

Papin bekam auch tatsächlich den Auftrag, einen größeren Zylinder zu bauen. Der Landgraf wünschte eine dampfbetriebene Wasserkunst. Papin fertigte zunächst ein Modell an. Aber dann stieß er auf Schwierigkeiten, mit denen er nicht gerechnet hatte.

Er fand keine Handwerker und keine Werkstatt, die derartig große Zylinder mit der nötigen Sorgfalt und Genauigkeit herstellen konnten. Es gelang nicht, den Kolben gegen den Zylinder genügend abzudichten. Für solche Präzisionsarbeiten war die Produktionstechnik in jener Zeit viel zu wenig ausgebildet, noch dazu in dem kleinen feudalen Ländchen Hessen.

Papin regte deshalb an, eigens für die Zylinderherstellung eine Fabrik zu errichten und Arbeiter auszubilden, die die großen Zylinder gleichmäßig ausbohren könnten. Aber dieser weitsichtige Plan des Professors blieb ein Traum.

Träume blieben auch seine vielen anderen Pläne und Vorschläge. Nachdem der Landgraf sich genügend an Papins Versuchen ergötzt hatte, erlosch sein Interesse. Der mittellose

Professor konnte in Hessen nicht mehr weiterarbeiten.

Er beschloss, nach England zu gehen. Einige Jahre zuvor hatte er ein Schiff bauen lassen, das von Schaufelrädern angetrieben wurde. In England, so dachte er, könnte er Geld auftreiben, um dieses Fahrzeug mit seiner Maschine auszurüsten.

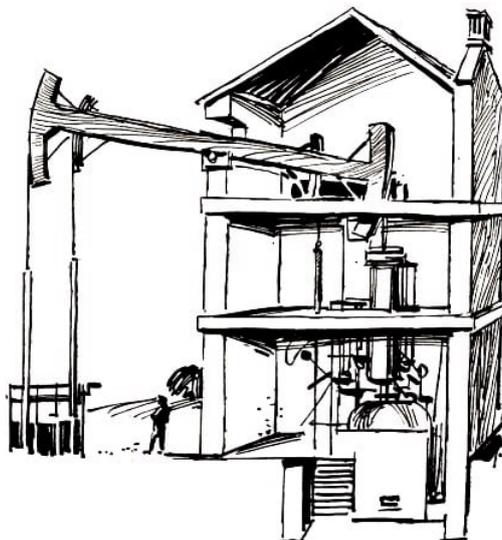
Das Schiff bildete Papins kostbarsten Besitz; daran klammerten sich alle seine Hoffnungen. Aber unterwegs, auf der Durchfahrt zur Weser, geschah ihm ein tragisches Unrecht. Die Gilde der Schiffer duldet kein fremdes Fahrzeug auf ihren Gewässern. Die Männer zogen das Schiff an Land und schlugen es in Trümmer.

In England lebte Papin in größter Armut. Wir kennen einen erschütternden Brief von ihm, in dem er um 15 Pfund Sterling bat, damit er ein "bedeutendes Experiment" durchführen könne. Auch das Antwortschreiben ist erhalten, das diese Bitte ablehnt. Denis Papin, der im Jahre 1690 in genialer Weise Feuer und Dampf mit einem Kolbenzylinder in Verbindung gebracht und damit die Urform der Dampfmaschine geschaffen hatte, starb 1714 völlig verarmt in London.

### 5.4 Das kohlefressende Ungeheuer

Wer um das Jahr 1725 auf einer der hügeligen Landstraßen Südenglands unterwegs war und sich den Kupfergruben von Cornwall näherte, der vernahm, lange ehe er etwas zu sehen bekam, ein anhaltendes Getöse, ein Fauchen und ein sich regelmäßig wiederholendes Krachen, ganz so, als stünde dort irgendwo eine gigantische Schmiede. Auf der engen Landstraße aber manövierten fluchende Kutscher ihre Pferdewagen. Ständig rollten Fuhrwerke in beide Richtungen. Die einen, schwer mit Kohle beladen, gelangten nur mühselig durch den Straßenschlamm; die anderen fuhren leer zurück.

Je näher man dem Bergwerk kam, desto stärker wurde der Lärm. Man brauchte den beladenen Pferdewagen nur nachzugehen, dann gelangte man an ein hohes Steingebäude, dessen Schlot schwarze Rauchwolken in den Himmel spie. Aus diesem Hause drang der ohrenbetäubende Krach; hier bebte die Erde unter wuchtigen Stößen.



Newcomens "Feuermaschine" aus dem Jahre 1725

Dicht unter dem Dach hatte die Hausmauer einen Durchbruch, aus dem ein langer Holzbalken herausragte. Er schwang stampfend auf und nieder und zog dabei eine Eisenstange mit sich, die senkrecht bis zum Erdboden hinabhing und in einem Schacht verschwand. Unermüdlich stieß sie in die Tiefe und kam wieder herauf. Dort unten sog und quirlte eine mächtige Pumpe.

Auf den Vorplatz, der das dröhnende Gebäude umgab, rollten mit knarrenden Rädern die Kohlenfuhrwerke. Die Kutscher stiegen ab und stopften sich gemütlich ihre Pfeifen. Da erschien im Kellergang des Hauses, gleich einem Wesen aus der Unterwelt, ein rußgeschwärtzter Mann, dem der Schweiß in Bächen über den nackten Oberkörper lief. Er schwang seine Arme und schrie nach Kohle. Die Fuhrleute stießen sich an und grinsten.

"Ich sag's ja", spottete der eine, "um ein Bergwerk mit so 'ner Feuermaschine zu entwässern, da brauchst du ein Erzbergwerk, um die Maschine erst mal zu bauen, und dann noch ein Kohlebergwerk, damit sie geheizt werden kann!"

Lastträger kamen, warfen die Kohle in große Kiepen, huckten sich die Last auf und stiegen in den Heizkeller. Unten schlugen ihnen Hitze und Dampf entgegen. Vor dem aufgerissenen, glühenden Maul eines großen, aus Steinen gemauerten Ofens bewegte sich die schweißglänzende Gestalt des Heizers. Er schaufelte unentwegt und schimpfte. "ne Viertelstunde später", schrie er, den Lärm kaum übertönend, "und ich hätt das Feuer nich mehr hochgekriegt. Hab kaum noch Dampf im Kessel!"

Über dem Ofen wölbte sich die mächtige eiserne Halbkugel des Dampfkessels. Eine Anzahl Rohre zweigte von seinen Wandungen ab. An den Schließhähnen, aus denen Dampf Wolken zischten, stand ein Mann und öffnete und schloss sie in bestimmter Reihenfolge.

Ein besonders dickes Rohr führte nach oben und mündete in einen senkrecht stehenden, riesigen Zylinder, der bis ins erste Stockwerk hinaufreichte. Der Zylinder maß vier Meter in der Höhe und fast einen Meter im Durchmesser. Eine armdicke Kolbenstange keuchte auf und ab. Sie endete oben in einer schweren Eisenkette, die klirrend durch ein Loch in der Decke verschwand, wenn der Kolben nach oben stieß.

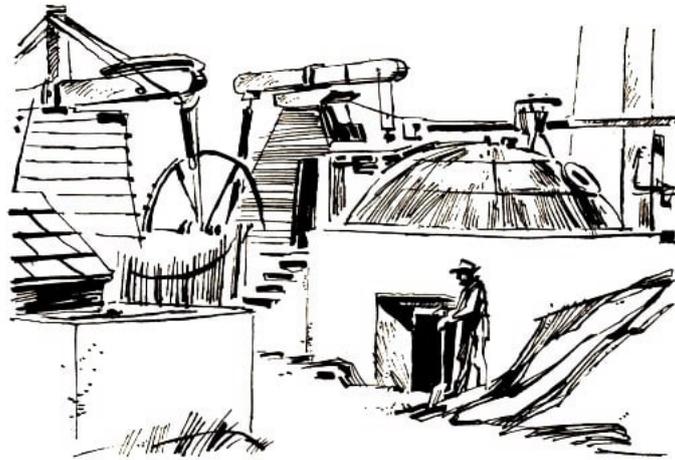
Wollte man der Kette nachgehen, so musste man ins zweite Stockwerk hinaufsteigen. Hier stand man plötzlich vor jenem großen Mauerdurchbruch und erschrak vor dem Schwingbalken, der wie ein Riesenhammer auf und ab schwang. Dabei stieß er jedesmal auf federnde Balken, dass es krachte und das Haus erschütterte wurde.

Diese Maschine, für die man ihrer Größe wegen eigens ein Haus bauen musste, war die erste brauchbare Kolbenkraftmaschine, die es gab. Sie wurde Anfang des 18. Jahrhunderts in großer Zahl in den Bergwerken aufgestellt, um das Grundwasser auszupumpen. Heute sind derartige Maschinen völlig verschwunden; aber noch vor 80 Jahren, um 1880, konnte man sie in englischen Bergwerken antreffen.

Ihr Erbauer, ein Eisenhändler und Schmiedemeister, hieß Thomas Newcomen. Er hatte einen reichen Viehzüchter als Geldgeber, und im Jahre 1705 begann er mit den ersten Versuchen. Nach sieben Jahren war er soweit, dass er seine erste Maschine

in einem Bergwerk aufstellen konnte.

Bald wurde sie von den englischen Grubenbesitzern lebhaft begehrt. Sie waren froh, dass sie endlich ihre Pferdegöpel abschaffen konnten, mit denen bislang das Grubenwasser ausgepumpt wurde. Der Unterhalt der vielen Pferde war teuer.



Atmosphärische Maschine in einem englischen Bergwerk. Sie war bis zum Jahre 1886 in Betrieb

Newcomen bekam alle Hände voll zu tun. Seine "Feuermaschine" arbeitete wesentlich billiger, wengleich sie große Kohlenmengen auffraß. Aber sie ließ sich verhältnismäßig einfach bedienen und konnte bis zu 50 Pferde ersetzen.

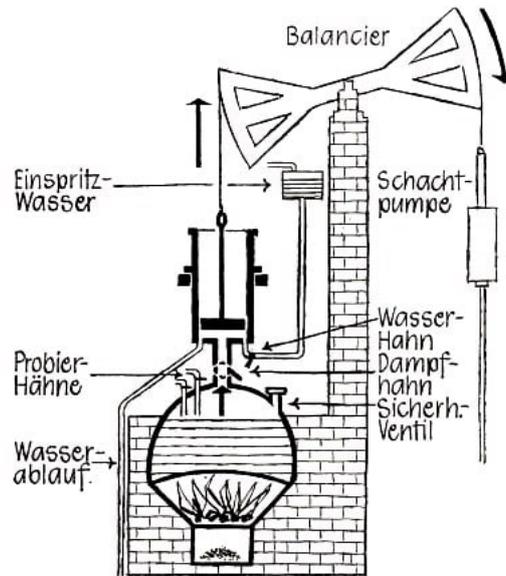
Eigentlich funktionierte sie ebenso, wie die Versuchsmaschine Papins, nur eben, dass sie wesentlich größer war und die Arbeitshübe stets wiederholen konnte.

Das bewirkte vor allem der große schwingende Balken, der Schwinghebel. Er lag mit seinem Drehpunkt auf dem Mauerwerk. Wie an einer großen Balkenwaage hing an der einen Seite die Kolbenstange mit dem Kolben und an der anderen das Gestänge der Saugpumpe. Das Pumpengestänge zog, von Gewichten beschwert, an dem Schwinghebel und hob den Kolben in die Höhe.

In dem großen Kessel siedete das Wasser. Ein Hahn wurde geöffnet, und dann strömte so lange Dampf in den Zylinder, bis dieser gefüllt war. Darauf schloss man den Dampfahn wieder.

Sodann öffnete man eine Wasserleitung, die kaltes Wasser in den Zylinder spritzte. Dadurch kühlte sich der Dampf ab und verwandelte sich wieder in Wasser. Im Innern des Zylinders entstand nun, ebenso wie bei dem Versuch Papins, ein erheblicher Unterdruck. Der viel stärkere äußere Luftdruck schob den Kolben in den Zylinder und hob gleichzeitig an der anderen Seite des Schwingbalkens das Pumpengestänge, das das Wasser aus dem Schacht förderte.

Dieser Vorgang wiederholte sich in einer Minute 10- bis 15mal. Eine besonders geglückte Maschine dieser Art arbeitete in einem Londoner Wasserwerk. Sie konnte in einer Stunde über drei Kubikmeter Wasser 38 Meter hoch fördern.



Schema der atmosphärischen Maschine von Newcomen

Die Maschine Newcomens bedeutete einen großen technischen Fortschritt. Sie zeigte noch Mängel. Sie arbeitete nicht stetig genug und konnte nur eine Hin- und Herbewegung ausführen.

Aber sie wandelte die Wärme des Kohlenfeuers in eine Bewegung um; "das Wasser wurde vom Feuer gehoben", wie man damals sagte. War das aber schon eine Dampfmaschine?

Der Dampf diente nur dazu, im Zylinder einen leeren Raum herzustellen, aber der Dampf selbst arbeitete noch nicht. Die Hubarbeit verrichtete der Luftdruck. Man nennt eine derartige Kraftmaschine deshalb atmosphärische Maschine. Von einer Dampfmaschine können wir nur sprechen, wenn der Dampfdruck die eigentliche Arbeit verrichtet.

### 5.5 Ein Mechaniker denkt nach

Es war im Jahre 1763. In der kleinen Werkstatt der Universität von Glasgow standen zwei junge Männer an einem Arbeitstisch, der Student John Robinson und der einundzwanzigjährige Universitätsmechaniker James Watt.

Sie hantierten an dem kleinen Versuchsmodell einer atmosphärischen Maschine; einer Maschine, wie sie Newcomen entwickelt hatte. Das Gerät wies einen 15 Zentimeter langen Zylinder auf, und sein Dampferzeuger war nicht größer als ein gewöhnlicher Teekessel.

"Jetzt müsste sie wieder in Gang kommen, John", sagte der Mechaniker und räumte seine Zangen und Feilen beiseite. Er goss heißes Wasser in den Kessel, entzündete den Ölbrenner und setzte die kleine puffende Maschine in Gang.

"Das hast du großartig gemacht, James", lobte der Student, "hoffentlich funktioniert das Ding später auch so gut, wenn wir es im Hörsaal benötigen. Lass mich mal an die Schließhähne!"

James Watt sah nachdenklich auf die Maschine. Er beobachtete den Kolben, der zwischen sekundenlangen Pausen seine Arbeitshübe verrichtete. Er schüttelte den Kopf.

"Ich finde es seltsam, John, dass diese Maschine so wenig leistet. Der Kessel ist doch groß genug! Er enthält viel mehr Dampf, als der Zylinder aufnehmen kann."

"Ich habe darüber noch nicht nachgedacht", erwiderte Robinson, "aber ich will ohne weiteres glauben, dass man diese Maschine verbessern könnte."

"Man gibt ihr genügend Futter", fuhr Watt fort, "sie verbraucht eine Menge Brennstoff. Das Wasser siedet ununterbrochen. Es wird ständig mehr Dampf als notwendig erzeugt. Trotzdem scheint es, als verschwände der Dampf auf geheimnisvolle Weise, sowie er in den Zylinder gelangt."

John Robinson hörte aufmerksam zu. Er schätzte in seinem Freunde nicht nur den geschickten Handwerker; er ließ sich auch gern von dessen Scharfsinn fesseln.

"Ich habe mir über diese Geschichte Gedanken gemacht", erklärte James Watt, "die Maschine muss irgendwo einen entscheidenden Fehler haben. Und ich glaube, ich bin ihm auf die Spur gekommen."

"Erzähle!" drängte Robinson.

"Wenn die Maschine arbeitet, spritzt man doch in regelmäßiger Folge kaltes Wasser in den Zylinder. Man will damit den Dampf abkühlen, ihn kondensieren. Aber dabei tut man gleichzeitig etwas völlig Unsinniges."

"Einen Augenblick", warf der Student ein, "lass mich überlegen! Das kalte Wasser kühlt nicht nur den Dampf, sondern auch den Zylinder. Meinst du das?"

"Eben. Wenn in den abgekühlten, kalten Zylinder der heiße Dampf einströmt, dann schlägt sich ein großer Teil davon sofort nieder, verwandelt sich in Wassertröpfchen. Er kondensiert, noch ehe man es beabsichtigt. Geschähe das nicht, so brauchte man viel weniger Dampf zu erzeugen. Man sparte eine Menge Brennstoff."

"Das ist überzeugend." Robinson nickte. "Hier wird die kostbare Wärme sinnlos verschwendet. Aber was willst du dagegen tun?"

"Ich weiß es noch nicht", entgegnete Watt. "Eines ist sicher: Der Zylinder darf nicht abgekühlt werden. Man muss ihn möglichst ebenso heiß halten wie den einströmenden Dampf. Nur dann, wenn die Maschine so beschaffen ist, verwandelt sich der Dampf nicht vorzeitig zu Wasser und kann erst voll ausgenutzt werden."

"Aber irgendwo muss doch der Dampf kondensieren, James!"

"Sicher, aber das müsste außerhalb des Zylinders geschehen."

John Robinson umwanderte nachdenklich den Tisch. So einfach diese Erklärung auch schien, so einleuchtend war sie. Hatte James Watt den Schlüssel gefunden, mit der er der Dampfkraft neue Wege zu eröffnen vermochte?

"Du solltest diesem Gedanken weiterhin nachgehen, James", sagte er schließlich. "Das wäre ein lohnendes Ziel. Mir ist zu Ohren gekommen, dass einige Besitzer von Bergwerken ihr gesamtes Vermögen verloren haben, weil ihre Gruben völlig überschwemmt wurden. Andere wiederum können nicht den ganzen Reichtum ihrer Gruben ausbeuten. Die Newcomen-Maschinen bewältigen das Wasser nicht mehr. Von diesem Schicksal

sind viele Unternehmer bedroht. Durch sie könntest du Mittel in die Hand bekommen, eine bessere Maschine zu bauen."

James Watt hatte nur mit halbem Ohr zugehört. Seine Gedanken galten bereits der neuen Maschine.

"Nehmen wir an, meine Vermutung sei richtig", sprach er, "und der Zylinder muss möglichst heiß gehalten werden. Was würde das bedeuten? - Es ist ja nicht allein das kalte Wasser, das den Zylinder abkühlt. Die Außenluft macht das gleiche.

Wenn sie beim Arbeitshub den Kolben in den Zylinder schiebt, dann umströmt sie notgedrungen die Zylinderwandungen und kühlt sie ab. Man dürfte sie gar nicht in den Zylinder hineinlassen.

Man müsste ihn sogar gegen die Außenluft abschirmen, verstehst du? Damit kein Quentchen Wärme entweichen kann." "Aber wie willst du das erreichen, James? Wenn die Außenluft nicht mehr in den Zylinder strömt, kann sie doch auch nicht arbeiten?"

"Das soll sie auch nicht. Der Dampf, John, der Dampf allein müsste den Kolben bewegen. Kein anderer Stoff sollte in den Zylinder einströmen dürfen als heißer Dampf, weder Wasser noch Außenluft. Dann behielte der Zylinder stets die gleiche Temperatur."

John Robinson sah den Freund betroffen an.

James Watt lächelte. "Ich gebe zu, das Ganze hört sich etwas phantastisch an. Ich habe auch noch nicht die geringste Ahnung, wie diese Wundermaschine aussehen müsste. Vielleicht ist alles auch nur ein Wunschtraum, John."

## 5.6 Die Dampfmaschine

James Watts scharfsinnige Überlegungen brauchten keine Wunschträume zu bleiben. Dem Mechaniker gelang es in jahrzehntelanger, angestrenzter Arbeit, die Dampfmaschine zu entwickeln.

Sie ähnelte zunächst der Newcomen-Maschine, wirkte plump und ungefüggig, obwohl sie wesentlich besser arbeitete. Watt vervollkommnete von Mal zu Mal ihre Konstruktion.

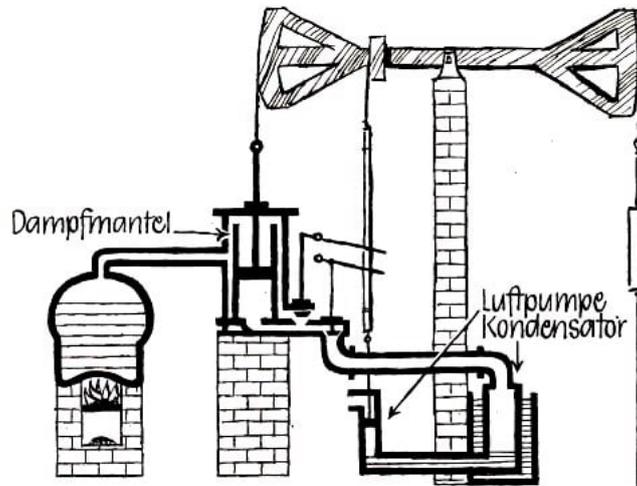
Dann arbeitete sie so ausgezeichnet, dass sie in ihren Grundlagen nicht mehr wesentlich verbessert zu werden brauchte. Auch den aufdringlichen Lärm, den die atmosphärischen Maschinen verbreitet hatten, konnte Watt an seiner Maschine beseitigen. Das war den Auftraggebern gar nicht immer recht. Darüber schrieb Watt in einem Brief:

"Ich habe die Maschine ein- oder zweimal so eingestellt, dass sie ganz geräuschlos arbeitete. Der Besitzer der Maschine kann nicht schlafen, wenn sie nicht tobt, und deshalb habe ich sie dem Maschinenwärter überlassen. Der Lärm erweckt bei den Unwissenden die Vorstellung von Kraft."

Bei dieser Maschine wird der Kolben nicht mehr vom Luftdruck, sondern vom Dampfdruck bewegt. Das geschieht heute bei einer Reihe von Dampfmaschinen nach folgendem Schema:

Der Zylinder hat zwei Öffnungen für den Dampfeintritt (A und B) und zwei weitere Öffnungen, durch die der verbrauchte Dampf ausströmen kann (C und D). Zunächst

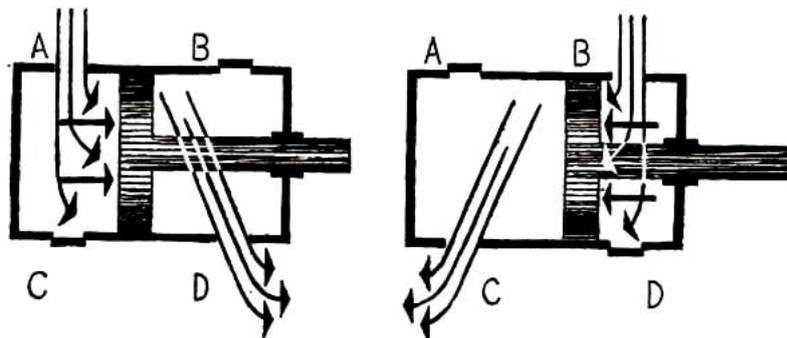
strömt Dampf durch das Ventil A in den Zylinder und drückt den Kolben nach rechts. Sodann öffnet sich Ventil B.



Schema der ersten von James Watt erbauten Dampfmaschine

Es strömt von der anderen Seite frischer Dampf ein und drückt den Kolben wieder nach links. Dabei entweicht der verbrauchte Dampf durch das Ventil C. Er gelang in eine besondere Anlage, die ihn wieder in Wasser umwandelt, in den Kondensator. Die Hin- und Herbewegung des Kolbens wiederholt sich fortlaufend und in sehr rascher Folge.

Watt war es also gelungen, den Dampf arbeiten zu lassen, wobei der Zylinder gleichmäßig heiß blieb, weil der Dampf außerhalb des Zylinders kondensiert wurde. Damit hatte der Erfinder die großen Mängel der atmosphärischen Maschine beseitigt.



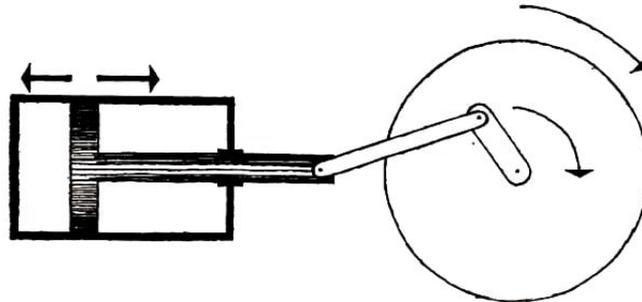
Ablauf eines Arbeitshubes bei einer Dampfmaschine mit Ventilsteuerung

Aber auch seine Maschine vollbrachte zunächst nur eine Hin- und Herbewegung. Man konnte damit lediglich eine Pumpe antreiben oder einen Dampfhammer auf- und ab-bewegen.

James Watt gab sich damit nicht zufrieden. Gerade zu seiner Zeit, am Ende des 18. Jahrhunderts, gab es in den Manufakturen bereits eine ganze Reihe von Maschinen, die die Handarbeit ersetzten. Man hatte Spinnmaschinen und mechanische Webstühle entwickelt; aber auch Bohr- und Drehmaschinen. Diese Maschinen verlangten eine drehende Antriebsbewegung und wurden deshalb von Wasserrädern angetrieben, deren Leistung aber bei weitem nicht ausreichte. Konnte man die Wasserräder nicht durch

Watts Dampfmaschine ersetzen?

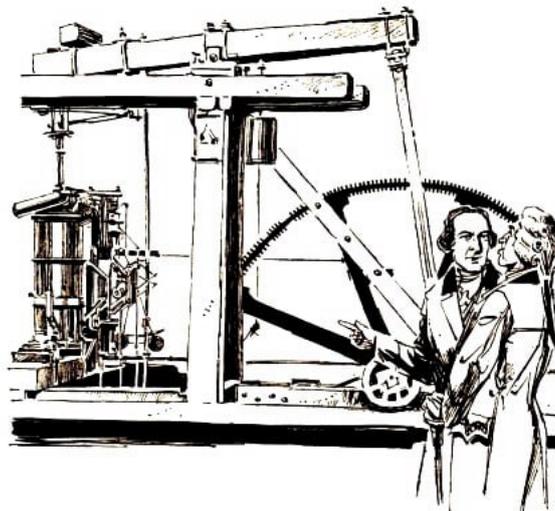
Der Erfinder entwarf Maschinenteile, die die Hin- und Herbewegung des Kolbens in eine Drehbewegung verwandelten: Er verband die Kolbenstange mit einem Gelenkarm und mit einer Kurbel, die wiederum eine Welle in Drehung versetzte.



Die Hin- und Herbewegung des Kolbens wird in eine Drehbewegung umgewandelt

Von einer solchen, gleichmäßig arbeitenden Kraftmaschine träumten die Fabrikanten schon seit langem. Sie schafften die Wasserräder ab und setzten an deren Stelle Dampfmaschinen, die weit größere Kräfte lieferten. Güter aller Art konnten schnell und billig produziert werden, und die Unternehmer strichen reiche Gewinne ein.

So trat die Dampfmaschine ihren Siegeszug an. Noch nie hatten die Menschen über eine so starke Kraftquelle verfügt. Jetzt konnten sie mächtige Dampfhammer betreiben, Walzwerke errichten und Eisen in großen Mengen verarbeiten. Die ersten Eisenbahnen und Dampfschiffe entstanden.



Eine von James Watt entworfene Dampfmaschine, Sie arbeitete von 1788 bis 1858 in einer englischen Fabrik

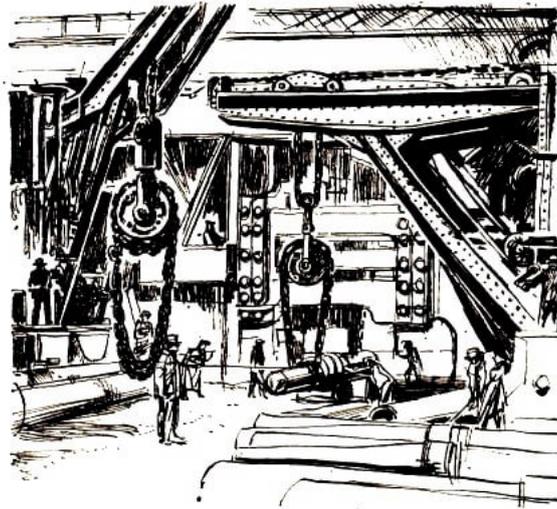
Es war notwendig, die Fertigwaren schnell und sicher zu befördern, sie in alle Welt zu versenden. Und ebenso schnell mussten die Rohstoffe herangebracht werden. Aber in den Häfen und auf den Bahnhöfen, in den Lagerhäusern und in den Fabriken mussten die Güter gestapelt werden, man musste sie mehrmals auf- und abladen.

Das war, bei der ungeheuren Menge der Güter, eine Riesenarbeit, zu der man Krane brauchte, und zwar mehr und leistungsfähigere als je zuvor.

## 5.7 Eisen und Dampf

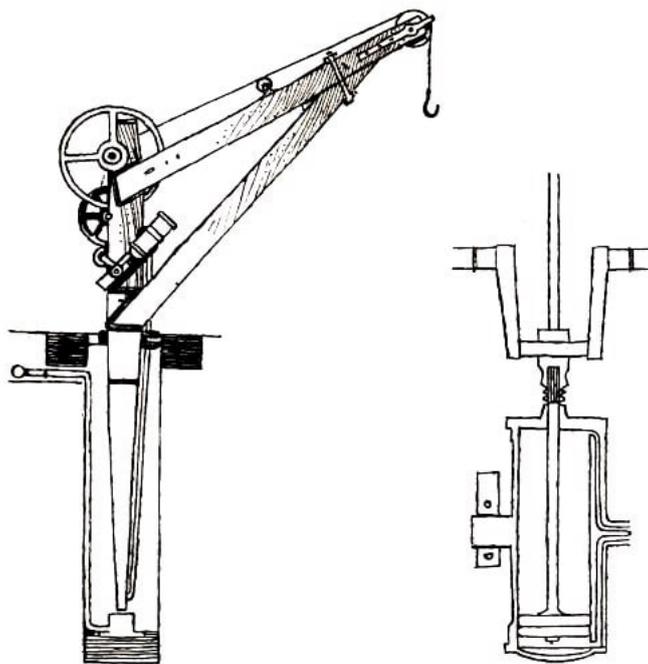
Wie sahen die Krane zu dieser Zeit aus?

Man war bereits von den ungefügigen Tretkranen abgekommen. Sie arbeiteten zu schwerfällig und nahmen zuviel Platz ein. Die Krane, die man um 1800 benutzte, wurden meist durch eine Handkurbel betrieben, die ein Arbeiter drehte. Da man zwischen die Kurbel und die Seilwinde mehrere Zahnräder einfügte, eine Zahnradübersetzung also, vermochte man mit diesen Kranen bereits beachtliche Lasten zu heben.



Stählerne Kurbelkrane in einem Schmiedewerk des vorigen Jahrhunderts

Aber solche Krane arbeiteten sehr langsam. Der Arbeiter musste lange Zeit an der Kurbel drehen, ehe so eine schwere Last endlich gehoben war. Konnte man nicht die starken Kräfte der Dampfmaschine dafür einsetzen, indem man Dampfkrane baute?



links: Der erste dampfbetriebene Hafenkran  
rechts: Dampfzylinder und Kurbelwelle des ersten Dampfkranes

Im Jahre 1827 wurde eine Patentzeichnung für den ersten Dampfkran eingereicht. Er bestand noch aus Holz. Nur wenige Teile, zum Beispiel der Dampfzylinder und die Zahnräder, Rollen und Lager waren aus Eisen gefertigt.

Sehen wir uns die Antriebsmaschine dieses Krans näher an!

Eine kleine Dampfmaschine wirkte auf eine Kurbel und versetzte sie in Drehung. Diese wurde über einige Zahnräder auf die Seilwinde übertragen.

Den Dampf erzeugte man in einem besonderen Kesselhaus, der Dampfzentrale. Allerdings lohnte sich das nur, wenn man mehrere derartige Krane einsetzte. Von der Zentrale wurde der Dampf dann jeder einzelnen Maschine zugeleitet. Dazu waren lange Rohrschlangen nötig.

Solche Krananlagen, die man vor allem in Häfen errichtete, zeigten mehrere Nachteile. Während nämlich der Dampf durch die langen Rohrleitungen strömte, um zu den Zylindern zu gelangen, kühlte er sich bereits zu einem Teil ab. Er kondensierte und verlor seinen hohen Druck.

Im Winter geschah es oft, dass die Zuleitungen einfroren und mühselig aufgetaut werden mussten. Dann wiederum kam es vor, dass die Leitungen undicht wurden und Dampf verlorenging. Infolgedessen arbeiteten diese Krane sehr unwirtschaftlich.

Inzwischen hatte die Verwendung des Eisens zugenommen. Immer mehr Maschinen, die früher aus Holz bestanden, wurden ganz und gar aus Eisen und Stahl hergestellt. Nun ging man auch erstmalig dazu über, eiserne Krane zu bauen.

Im Jahre 1850 konstruierte der englische Ingenieur Fairbairn den ersten Kran aus Stahlblech, der von einer Handkurbel betrieben wurde. Krane dieser Art standen an den Kais der An und dienten zum Löschen der Handelsschiffe.

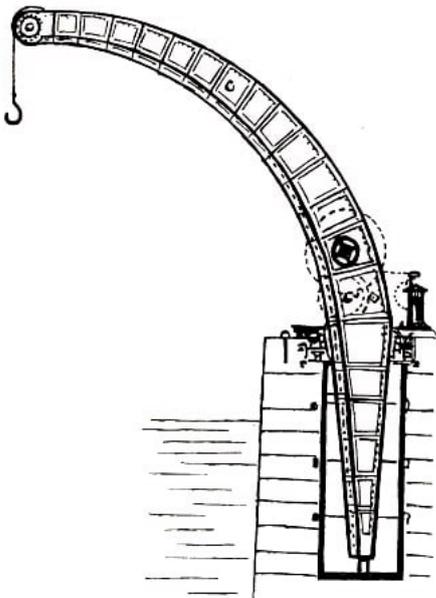


Abbildung: Der erste Kaikran aus Stahlblech. Er hatte noch Kurbelantrieb.

Später konstruierte man Krane, bei denen der Dampf nicht mehr über eine lange Strecke geleitet zu werden brauchte. Man stellte eine drehbare Plattform her, die auf Schienen fahren konnte.

Auf diese Plattform montierte man nicht nur den stählernen Ausleger mit Winde und Dampfzylinder, sondern auch den Dampfkessel mit der Heizanlage.

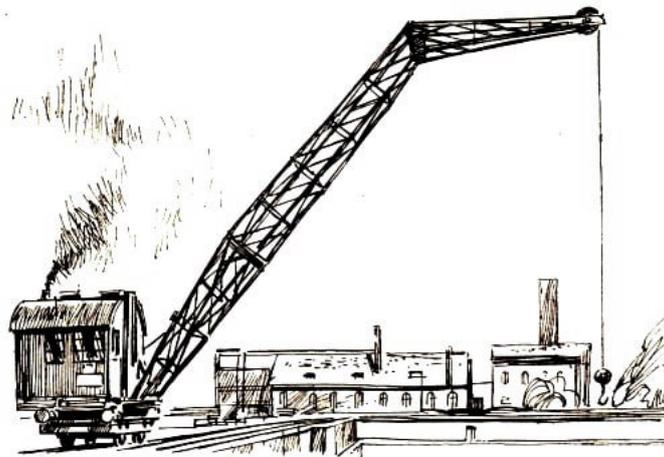
Dieser Kran wirkte zunächst plump und schwerfällig, zumal man ja auch die Kohle unterbringen musste. Zwar war er beweglicher, da er nicht an die Dampfleitung gebunden war; es war jedoch noch keine zufriedenstellende Lösung.

Stets musste außer dem Kranführer noch ein Heizer beschäftigt werden. Man brauchte

auch Arbeitskräfte, die den Kran mit Wasser und Kohle versorgten. Der größte Nachteil bestand aber darin, dass er nicht ständig betriebsbereit war.

Der Heizer musste schon Stunden vor Arbeitsbeginn den Kessel anheizen oder Tag und Nacht unter Dampf halten. Man musste ihn also ständig beheizen, auch wenn der Kran nicht ununterbrochen arbeitete. Damit vergeudete man viel Brennstoff; der Kranbetrieb stellte sich sehr teuer.

Wir sehen also, dass die Dampfmaschine noch keine ideale Antriebsmaschine war, die man überall einsetzen konnte. So vorteilhaft sie auch arbeitete, wenn sie Arbeitsmaschinen, Lokomotiven und Schiffe in Bewegung setzte, für den Kranbetrieb zeigte sie sich wenig geeignet.



Älterer fahrbarer Dampfkran

Dennoch benutzte man Dampfkranen in großer Zahl, denn sie entwickelten starke Kräfte. Auf den Werften, in den Häfen und in den Fabriken bewältigten sie schwere Schiffsteile, große Maschinen, Gießpfannen und Eisenblöcke.

Aber schon waren die Forscher und Techniker einer neuen Kraftquelle auf die Spur gekommen und begannen sie anzuwenden.

## 5.8 Energie strömt durch Drähte

Man schrieb das Jahr 1891.

Es war erst ein Jahrhundert vergangen, seit die erste Dampfmaschine aufgestellt worden war, aber wie tiefgreifend hatte sich seitdem die Welt verändert!

Eiserne Dampfschiffe befuhren die Weltmeere, und auf dem Festlande rollten Eisenbahnen auf einem Netz neuerbauter Schienenstraßen. Moderne Fabriken waren wie Pilze aus der Erde geschossen. In den Werkhallen dröhnten und stampften die Maschinen. Sie erzeugten eine unermessliche Fülle von Gütern, angefangen vom Hosenkнопf bis zur Schnellzuglokomotive.

Die Menschen schufen nie dagewesenen Reichtum.

Aber dieser Reichtum gelangte nicht in die fleißigen Arbeiterhände, sondern in die gepflegten Hände jener, denen Schiffe, Eisenbahnen, Gruben und Fabriken gehörten.

Doch wie lange noch?

Schon vor einem halben Jahrhundert war von Karl Marx und Friedrich Engels das "Manifest der Kommunistischen Partei" veröffentlicht worden. Es zeigte den ausgebeuteten Menschen den Weg in die Freiheit. Die Ausbeuter fürchteten die marxistische Lehre und bekämpften sie. Noch besaßen sie die Macht, die menschliche Arbeitskraft billig zu kaufen und Gewinn auf Gewinn zu häufen. Und welche Möglichkeiten eröffnete ihnen dabei die moderne Technik!

In den ersten Kraftwerken summten bereits die Dynamomaschinen und erzeugten Strom. Auf allen Kontinenten tickten Morsetelegraphen und jagten die neuesten Nachrichten und Börsenkurse mit Blitzgeschwindigkeit durch die Leitungen. Längst gab es eine Kabelverbindung zwischen Europa und Amerika, aber in Italien träumte der siebzehnjährige Guglielmo Marconi schon davon, drahtlose Funksprüche senden und empfangen zu können.

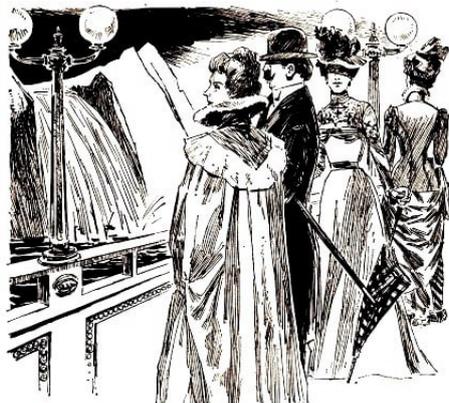
Vor 52 Jahren hatte der russische Physiker Jacobi den ersten Elektromotor gebaut. Er hatte ihn in ein Boot montiert und war auf der Newa spazierengefahren. Und nun rissen Arbeiter in den großen Städten das Pflaster auf, legten stählerne Schienen, und bald rumpelten die ersten elektrischen Bahnen durch die Straßen.

Daneben lärmten die ersten Automobile mit ihren puffenden Benzinmotoren. Die nächtlichen Städte waren nicht mehr in schwarze Finsternis gehüllt, sondern erstrahlten im Licht der Gaslaternen.

Beinahe täglich meldeten die Zeitungen ihren überraschten Lesern von einer neuen Erfindung, einer entscheidenden Entdeckung. Man bestaunte solche Wunderdinge wie Fernsprecher, Grammophon und Fotoapparat.

Und nun, im Jahre 1891, fand in Frankfurt am Main eine internationale elektrotechnische Ausstellung statt, auf der man den Besuchern etwas Erstaunliches zeigte. An jedem Abend flammten etwa 1000 Glühlampen auf und warfen flimmernde Lichtreflexe auf einen Wasserfall. Er war künstlich angelegt worden; eine Kreiselpumpe speiste ihn ständig mit Wasser. Die Kreiselpumpe wurde jedoch nicht von einer Dampfmaschine, sondern von einem Elektromotor angetrieben.

Aber es waren nicht die vielen Glühlampen oder der Motor, was die Besucher so verblüffte. So etwas kannte man ja bereits seit einigen Jahren.



Das Sensationelle an diesem prächtigen Schauspiel war, dass der elektrische Strom, den man dafür brauchte, von einem weit entfernten Ort hergeleitet wurde.

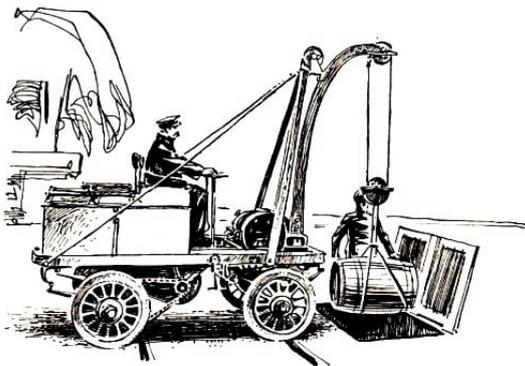
Am Neckar, 175 Kilometer von Frankfurt entfernt, stand ein kleines Wasserkraftwerk. Dort erzeugten Dynamomaschinen die elektrische Energie. Ein Hochspannungskabel leitete sie über die weite Entfernung bis auf das Frankfurter Ausstellungsgelände. Dort speiste sie die 1000 Glühlampen und den Elektromotor.

Das war ein gelungenes Großexperiment. Alle Welt sah, wie man elektrische Energie über weite Strecken transportieren konnte, ohne dass dabei erhebliche Verluste auftraten. Eine solche Fernleitung für Dampfkraft wäre völlig unmöglich gewesen.

Von dieser Zeit an eroberte die Elektrizität nach und nach alle Gebiete der Technik. Man errichtete viele Kraftwerke und spannte Fernleitungen, die den Strom in alle Himmelsrichtungen verteilten. Nun konnte man Wohnhäuser, Fabriken, Werkstätten und Häfen mit Strom versorgen. Elektrisches Licht löste die Gaslampe ab, und in den Fabriken verdrängte der Elektromotor allmählich die Dampfmaschine.

Um wieviel einfacher und sauberer arbeitete so ein Elektromotor! Er brauchte keine Ventile, keine Rohrleitungen, kein umständliches Kurbelgetriebe. Man konnte ihn überall aufstellen, wo es elektrischen Strom gab.

Er ließ sich auf kleinstem Raum unterbringen, brauchte nicht geheizt und kaum gewartet zu werden. Ein Knopfdruck genügte, um ihn in Gang zu setzen oder abzuschalten. Wenn er nicht lief, dann verbrauchte er keinen Strom. Er arbeitete sparsam und zuverlässig. War das nicht eine ideale Antriebsmaschine für die Krane?



Fahrbarer Elektrokran aus dem Jahre 1925

Schon im Jahre 1885 hatte man in Köln den ersten Elektrokran konstruiert. Fünf Jahre später wurde der Hamburger Hafen mit einer Reihe elektrisch betriebener Drehkrane ausgerüstet.

Die Techniker entwickelten unentwegt stärkere und bessere Motoren und probierten aus, ob sie sich für den Kranbetrieb eigneten. Sie erkannten, dass sie nun völlig neue Kranarten bauen konnten, Krane, an die man früher nicht im Traume gedacht hatte. So führte der Elektromotor zu einer völligen Umwälzung im Hebezeugebau.

## 6 Vom Schlosserjungen zum Diplomingenieur

### 6.1 Der „Peiner“-Kran

Es geschah in einer Januarnacht des Jahres 1961.

Durch die schneebedeckten Straßen Berlins fegte ein scharfer Wind. Auf den vereisten Fahrbahnen spiegelte sich das Licht der elektrischen Lampen. Das Thermometer zeigte zehn Grad unter Null.

Scheinwerferlicht überflutete die Karl-Marx-Allee. Sie zählt heute zu den schönsten Straßen des neuen Berlin. Breite Fahrbahnen, elegante Läden und Gaststätten und moderne zehngeschossige Wohnhäuser erfreuen die Berliner und ihre Besucher. Damals aber war hier Bauplatz. Die ersten Hochbauten waren in Rekordzeit aus dem Boden gewachsen. Ihre Kachelfassaden blitzten im Scheinwerferlicht.

Lastwagen dröhnten heran, stoppten und schütteten eine breite Schotterbahn auf die Straße. Offiziere und Pioniersoldaten in Monteuranzügen schleppten Gleisschwellen und lange Eisenschienen auf das Gleisbett und legten einen Schienenstrang quer über die Straße. Die Gleise hatten eine ungewöhnlich große Spurweite; für einen Eisenbahnzug konnten sie nicht bestimmt sein.

In der Luft lag knisternde Spannung. In dieser Nacht wollte man einen kühnen Gedanken in die Tat umsetzen. Ein sorgfältig vorbereitetes Unternehmen, eine technische Glanzleistung sollte vollbracht werden.

Auf der nördlichen Straßenseite reckte sich der riesenhafte Leib eines schlanken Stahlgerüsts. Dort stand ein Turmdrehkran von gewaltigen Ausmaßen, ein von westdeutschen Arbeitern gebauter "Peiner"-Kran.

Die Scheinwerfer erfassten seinen breiten, meterhohen Unterwagen und die blitzende Glaskanzel, aber die Spitze des Turmes verlor sich in der Höhe des nächtlichen Winterhimmels. Dort oben, 70 Meter über dem Erdboden, streckte sich der Ausleger wie der Schatten eines Riesenarmes.

Am Tage zuvor hatte der Kran noch die letzten Dachplatten auf die zehnstöckigen Häuser gehoben. Nun musste er auf die andere Straßenseite gebracht werden, denn schon morgen sollte er dort drüben weitere Hochhäuser montieren helfen.

War dieser Riese ein Spielzeug, das sich so einfach hierhin und dorthin setzen ließ? Dieser westdeutsche Kran zeigte einen erheblichen Mangel:

Seine Umsetzung verursachte hohe Kosten und raubte viel Zeit. Drei Wochen würde es gedauert haben, bis man den Stahlturm auseinandergenommen, die schweren Einzelteile auf die südliche Straßenseite gefahren und den Kran dort wieder aufgerichtet hätte. Drei Wochen Zeitverlust wegen einer kurzen Fahrt von 165 Metern?

Unsere Techniker hatten nach einem anderen Weg gesucht. Der Kran besaß ja Räder, und wenn er die Häuser montierte, dann rollte er auf einem breiten Gleis vor oder zurück. Konnte er nicht auf seinem eigenen Gleis mit eigener Motorkraft auf die andere Straßenseite fahren?

So etwas hatte es bis dahin noch nicht gegeben. Aber was wollte das heißen!

Es verging Stunde um Stunde in rastloser Arbeit. Um fünf Uhr waren alle Vorbereitungen beendet. Die breite Gleisschlange wand sich über die Straße. Die Pioniere hatten in die Strecke drei Kurven legen müssen. Hier würde der Kran besonders vorsichtig manövrieren. Noch einmal prüften die Techniker das Gleisbett.

Würde es den 120-Tonnen-Koloss sicher tragen? Wenn das Gleis an einer Stelle einbräche oder nur ein wenig unter der Tonnenlast nachgäbe, könnte der Kran umstürzen.

Es gab noch einen besonders gefahrvollen, zehn Meter langen Streckenabschnitt, denn unterhalb der Straße lag der Tunnel der Berliner Untergrundbahn.

Würde die Straßendecke dem Gewicht des Kranes standhalten?

Die Techniker konnten an dem Gleisbett keine Mängel entdecken. Sie nickten zufrieden; die Pioniere der Volksarmee hatten hervorragend gearbeitet. Der Kran durfte seine Fahrt antreten.

Zwei Männer kletterten auf den Unterwagen und stiegen in die Kanzel. Kurz darauf flammten die Scheinwerfer des Kranes auf und warfen ihre Lichtbündel auf die Fahrstrecke. Die Kranführer konnten das breite Gleis unter ihrer Kanzel gut überschauen. Es lag menschenleer vor ihnen. Dann erhielten sie das Signal: "Fahren!"

Ruhig, mit gewohnten Handgriffen, fassten sie nach den Schalthebeln. Die Motoren summten, ein Zittern lief durch den Riesen, ein leichtes Schwanken, und schon spürten die Männer, wie der Wagen anrollte. Langsam kroch der Kran auf die erste Kurve zu, durchfuhr sie und erreichte den Straßenrand. Da kam das Stoppsignal.



Unten auf dem Gleisbett bewegten sich drei Männer, Techniker und Ingenieure. Sie schritten die Strecke ab, bückten sich hier und da, sprachen miteinander.

Hatten sie einen Fehler entdeckt? Hatte sich das Gleisbett gesenkt? Aber die Männer nickten den Kranführern beruhigend zu und stiegen vom Gleis herunter. Das Fahrsignal

kam, und der Kran setzte sich wieder in Bewegung.

Die Fahrt verlief glücklich. Meter um Meter rollte der Koloss, manchmal stockend, ständig überwacht und kontrolliert und von allen mit Spannung verfolgt. Nach 40 Minuten stand er auf der anderen Seite. Die Soldaten und Arbeiter atmeten erlöst und glücklich auf. Sie umringten die Kranführer, die mit strahlenden Gesichtern aus der Kanzel geklettert kamen, und drückten ihnen die Hände. 18 Tage waren gewonnen und 278 000 DM eingespart worden. Arbeiter in Zivil und in Uniform hatten gemeinsam eine technische Großtat vollbracht.

Nun stand der Riese bereit, um neue Wohnhäuser für die Berliner zu errichten. Im ersten Licht der Morgensonne ragte er stolz in den Himmel.

Aber dieses imponierende Bild konnte unsere Fachleute nicht täuschen.

Der "Peiner"-Kran wies einen schwerwiegenden Mangel auf: Sein Auf- und Abbau war umständlich, das Ganze dauerte zu lange und kostete viel Geld. Gewiss - unsere Techniker hatten sich dieses Mal zu helfen gewusst, sie hatten die risikofolle Fahrt über den U-Bahn-Schacht gewagt. Ihr kühner Plan war auch dank der tüchtigen Pionierkompanie gelungen.

Aber wie sollte es weitergehen, wenn der Kran morgen am Alexanderplatz und später in einem anderen Stadtviertel gebraucht wurde? Dann musste man in den sauren Apfel beißen, musste den Kran auseinandernehmen, die Einzelteile zum künftigen Bauplatz fahren und dort ebenso zeitraubend wieder zusammensetzen. Mit solchen Kranen konnte man nicht wirtschaftlich genug arbeiten.

Unsere Techniker planten seit langem einen Ausweg; sie wollten einen zweckmäßigeren Kran schaffen. Und so begann im volkseigenen "S.M. Kirow-Werk" - gerade in jenem Winter 1960/61 - der Serienbau eines neuen Riesenkranes. Er sollte sich dem "Peiner"-Kran weit überlegen zeigen.

Die "S. M. Kirow-Werke" liegen in Leipzig, und dort leben auch die Menschen, in deren Köpfen die Pläne zu diesem Krangiganten heranreiften.

## 6.2 Horst Bendix

Leipzig, im Frühjahr 1945.

In der engen Laube eines Schrebergartens hockte ein fünfzehnjähriger Junge und wagte sich nicht auf die Straße. Es wimmelte in der Stadt von Militärstreifen der Naziarmee. Sie griffen jeden auf, der ein Gewehr tragen konnte, Greis oder Kind, und jagten ihn an die Front. Vor diesen Häschern hielt sich Horst Bendix verborgen.

Wochen vergingen.

Eines Tages kam der Vater und sagte, der Krieg sei aus. Erlöst lief Horst auf die Straße. Leipzig, einst eine glänzende Messestadt, lag in Trümmern. Hohe Schuttberge versperrten die Straßen und türmten sich auf den Plätzen. Es ragten düstere Ruinen auf, wo früher Wohnhäuser gestanden hatten.

Später ging Horst Tag für Tag durch das Tor der Leibniz-Oberschule, um zu lernen und das Abitur zu erreichen. Es gab in diesen ersten Jahren nach dem Kriege nicht üppig

zu essen. Wer einen Anzugstoff haben wollte, musste Lumpen sammeln und sie gegen einen Gutschein abliefern. Das Leben war hart, aber die Menschen gingen mutig an den Wiederaufbau.



Horst Bendix

Horst sah die ersten schüchternen Anfänge, wieder neue Wohnhäuser zu schaffen. Noch waren es nur wenige. Wie langsam wuchs so ein Haus in die Höhe. Man baute ja mit der jahrhundertealten Methode, setzte mühselig Ziegelstein auf Ziegelstein, nach der Maurerregel: Ein Stein - ein Kalk!

Horst saß auf der Schulbank. Er büffelte Mathematik, Physik, Chemie, studierte die Bücher und notierte, was die Lehrer vortrugen.

Und an einem Frühlingstage im Jahre 1948 betrat er herzklopfend das Zimmer, in dem schon seit Tagen die strenge Prüfungskommission saß. Man reichte ihm die Hand und wünschte ihm herzlich Glück. Er hatte das Abitur bestanden.

Im Herbst des gleichen Jahres stand Horst hinter einem Schraubstock im Reichsbahnausbesserungswerk. Man gab ihm eine Feile, und er lernte, wie man sie mit beiden Händen halten muss und sie fachgerecht führt, damit auf dem groben Eisenklotz saubere, rechtwinkelige Flächen entstehen.

Er lernte Bohren, Gewindeschneiden, Schmieden, Drehen; eben alles, was ein tüchtiger Schlosser wissen und können muss. Horst arbeitete gut; er gewann im Berufswettkampf und fand noch Zeit, die FDJ-Gruppe seiner Lehrwerkstatt zu leiten.

Nach einem Jahr kam ein entscheidender Tag in seinem Leben: Er bat die Genossen der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands, ihn in ihre Reihen aufzunehmen.

Im Mai 1950 feilte Horst an einem Vorhängeschloss. Er war es gewohnt, sehr sauber und gewissenhaft zu arbeiten. Er griff lieber einmal zuviel als zuwenig zur Schublehre. Diesmal gab sich Horst besondere Mühe.

Dieses Schloss war sein Gesellenstück. Zum Abitur gesellte sich das Facharbeiterzeugnis. Einige Monate darauf reiste er nach Dresden. Er brauchte dort nicht lange zu fragen; jeder Dresdner kennt die Technische Hochschule.

Sie ist eine kleine Stadt für sich mit weitläufigen Gebäudekomplexen, unzähligen Gängen und Türen, Hörsälen und Laboratorien. Wird er sich hier zurechtfinden?

Horst hatte fünf Jahre Zeit dazu. So lange dauert es, bis man Maschinenbau studiert hat.

Der zwanzigjährige Horst Bendix merkte bald, wie gering sein Wissen noch war und was er noch lernen musste, ehe er Maschinen entwerfen konnte. Aber er hatte keine Angst vor den Formeln an der Tafel und den Zahlenkolonnen in den Tabellenbüchern. Wenn man sie verstehen gelernt hatte, dann fügten sie sich zu einem übersichtlichen Gebäude, in dem es keine verwinkelten dunklen Gänge und verschlossenen Türen gab. Jede Tür lässt sich öffnen, wenn man dazu den "Schlüssel" besitzt. Der Mensch, der die Naturgesetze kennt, beherrscht die Natur, also das Eisen, die Elektrizität, den Dampf und die Atome. Er kann sie formen und bilden, wie er sie haben will. Er baut Kraftwerke, Talsperren, Maschinenautomaten, Raketen und stählerne Riesen. Erst das Wissen verleiht dem Menschen Titanenkräfte.

Horst lernte noch etwas anderes auf der Technischen Hochschule. Er erkannte, welche Maschinen die junge volkseigene Industrie brauchen würde. Überall in der Republik wuchsen neue Werke und Wohnbauten.

Ja, ganze Städte wurden neu errichtet. Mit der alten Methode, ein Stein - ein Kalk, kam man nur im Kriechtempo voran. In Zukunft würde man Häuser und Fabriken aus großen Einzelteilen zusammenfügen, und zwar aus Betonplatten, in denen Fenster und Türen bereits fix und fertig eingesetzt waren.

Aber wenn man so bauen wollte, dann brauchte man viele Krane dazu, Krane von ungewöhnlicher Höhe. Die Häuser sollten ja acht, zehn, zwölf Stockwerke haben, mit Fahrstuhl und allem Komfort. In der Sowjetunion baute man bereits solche Häuser.

### 6.3 Das grenzt an Zauberei

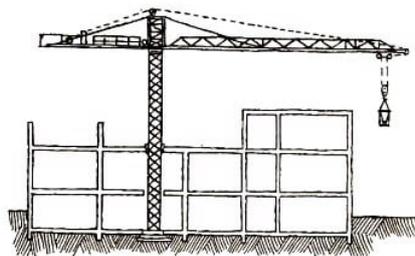
Von dort kamen überhaupt sensationelle Nachrichten. Die Studenten erfuhren von einem neuen Turmdrehkran, den sowjetische Ingenieure in den Jahren 1947 bis 1949 entwickelt hatten. Dieser Kran besaß keine aufregenden Ausmaße; er war nur 21 Meter hoch.

Dennoch hatten die Moskauer Bauarbeiter mit diesem Kran ein fünfzehnstöckiges Hochhaus errichtet.

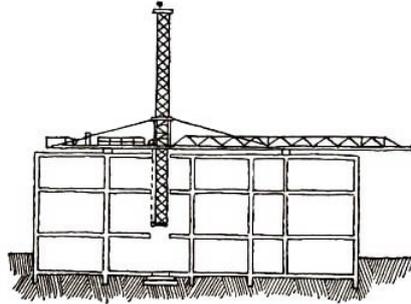
Konnten die Moskauer zaubern?

Ein Professor der Hochschule erklärte den Studenten, welches Geheimnis dahintersteckt. Der Professor zeichnete an der Tafel. Er deutete ein Betonfundament an, das zu ebener Erde lag, und zwar mitten auf dem Platz, auf dem sich später das Hochhaus erheben sollte.

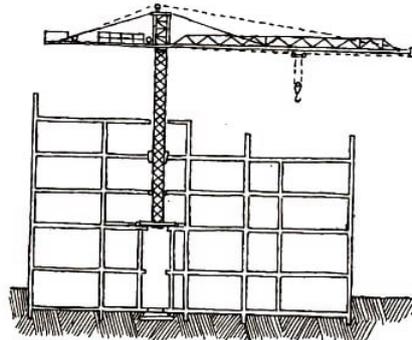
Der Kletterkran hebt sich selbst in die Höhe



Zunächst werden mit Hilfe des Kletterkrans die unteren drei Stockwerke des Hauses aus fertigen Betonplatten montiert



Der Ausleger wird auf die bereits fertiggestellten Stockwerke herabgelassen. Dann zieht eine Motorwinde den Turm in die Höhe



Der Turm wird auf das zweite Stockwerk gesetzt und der Ausleger mit Motorkraft an die Spitze des Turmes gewunden

"Auf diesen Sockel wird der Kran montiert", erläuterte der Professor und zeichnete dabei, "dann baut man immer um den Kran herum. Es entsteht das erste Stockwerk, dann das zweite und dritte."

Er zog mehrere Striche, um das Gerippe des Hauses anzudeuten.

"Das vierte Stockwerk kann der Kran nicht mehr bauen. Er reicht nicht hoch genug hinauf. Ja, meine Herren, was nun?"

Er blickte abwartend auf die Studenten. Ein junger Zuhörer hob seine Hand.

"Herr Professor, Sie sagten, der Kran sei nicht hoch genug. Vielleicht steht er nur nicht hoch genug."

Der Professor nickte.

"Man könnte den Kran einfach höher stellen, am besten auf die fertigen drei Stockwerke. Dazu brauchte man eigentlich einen zweiten Kran. Aber hier ist das nicht nötig. Der Kran klettert selbst. Das geht folgendermaßen vor sich: Der Ausleger wird herabgelassen und legt sich auf das dritte Stockwerk. Ein besonderes Hubwerk zieht den schweren Turm, dessen Masse 40 Tonnen ausmacht, so weit in die Höhe, bis sein Fuß das zweite Stockwerk erreicht hat."

Er zeichnete schnell eine zweite Skizze.

Der Kran sah jetzt sonderbar aus, als habe man ihn auf den Kopf gestellt, denn der Ausleger befand sich am Fuße des Turmes. Und der Turm selbst ragte seltsam nackt in die Luft.

"Jetzt unterstützt man den Turm von neuem", erläuterte der Professor weiter, "diesmal allerdings im zweiten Stockwerk. Das Hubwerk arbeitet wiederum und zieht diesmal den Ausleger an seinen gewohnten Platz, an die Spitze des Turmes. Der Kran hat sich selbst um zwei Stockwerke gehoben, also um acht bis neun Meter.

Die ganze Kletterei dauert nicht länger als eine Viertelstunde. Nun hebt der Kran die Platten für das vierte und fünfte Stockwerk, klettert wiederum, und so geht es fort. Man kann mit diesem Kran Häuser beliebiger Höhe bauen, denn das Lastseil lässt sich ja genügend verlängern.

Erst wenn der Bau fertig ist, zerlegt man den Kran auf dem Gipfel des Hauses und lässt die Teile auf den Boden hinab. Dazu bedient man sich wiederum der Hubwerkswinde."

"Eine großartige Entwicklung!" schloss der Professor. "Hut ab vor ihren Konstrukteuren! Schreiben Sie sich die Namen auf: Welichow, Gitmann, Sokolowa, Stschipakin und Chodow!"

Die Studenten verstanden, was der Professor sagen wollte. Diese sowjetischen Ingenieure hatten in sozialistischer Gemeinschaftsarbeit ihrem schwerzerstörten Vaterland einen großen Dienst erwiesen. Mehr noch:

Mit diesen Kranen wird man nicht nur sowjetische Städte, sondern auch Städte der DDR rasch wieder aufbauen können.

## 6.4 Der Chefkonstrukteur

Horst Bendix war 25 Jahre alt, als er am Institut für Fördertechnik sein Examen ablegte. Er bestand es gut.

Nun war er frisch gebackener Diplomingenieur. Würde er sein Wissen richtig anwenden können? Reichte es aus, um vor der täglichen Praxis in einem Werk bestehen zu können?

Bange machen galt nichts! Horst Bendix brauchte sich jetzt, im Jahre 1955, nicht vor der Zukunft zu fürchten. Sicher, er würde wieder lernen, viel lernen müssen, ganz gleich, in welchem Werk er arbeitete. Aber überall würde er Genossen finden, Menschen, die ihm weiterhelfen und die er nicht enttäuschen darf.

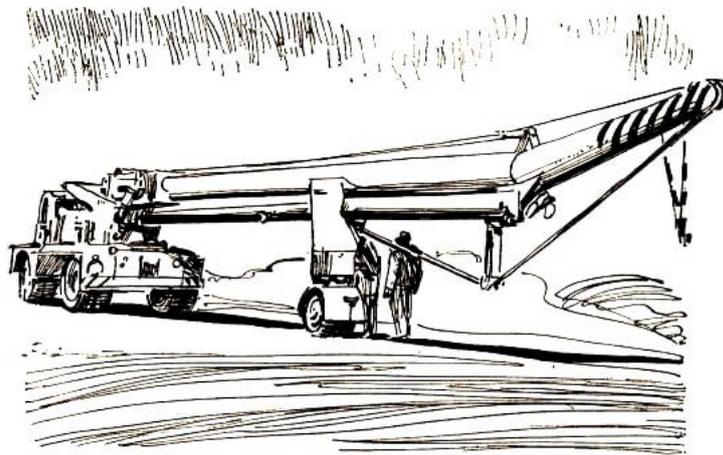
Horst Bendix ging nach Leipzig zurück. Dort gab es den VEB Schwermaschinenbau "S. M. Kirow", eines der größten Werke unserer Republik.

Es trägt den Namen des kommunistischen Revolutionärs und Staatsmannes Sergej Mironowitsch Kirow, der Astrachan gegen die Weißgardisten verteidigte und im Jahre 1934 von Agenten feige und hinterrücks ermordet worden ist.

In diesem Werk entstehen Hebezeuge aller Art, Aufzüge, Turmdrehkrane, Waggonkipper, Eisenbahnkrane. Hier begann der junge Ingenieur seine Arbeit.

Zunächst musste er sich in dem großen Werk zurechtfinden. Das war nicht einfach. Die vielen Maschinensäle, Montagehallen, Werkstätten und Konstruktionsbüros! Was wurde dort in jener Halle montiert?

Was vor diesem Reißbrett ausgetüftelt? Horst Bendix ließ sich nicht verwirren. Er wusste, hinter allem steckt eine planvolle Ordnung, die man begreifen kann. Er musste lernen, das Ganze zu überschauen.



Autokran in Fahrstellung. Die niedergelegte Kranturm kann durch Motorenkraft aufgerichtet werden

Nach knapp vierjähriger Tätigkeit im Werk erklimm Horst Bendix wiederum eine Sprosse in seiner Laufbahn. Er wurde Chefkonstrukteur.

Das war eine schwere Verantwortung, die man dem achtundzwanzigjährigen Ingenieur übertrug. Worin bestand seine Arbeit? Hatte er nun alle wichtigen Maschinen allein zu entwerfen? Das war bei der modernen komplizierten Technik nicht möglich. Heute entstehen Maschinen in gemeinschaftlicher Arbeit vieler Menschen.

Ein Chefkonstrukteur verfügt über einen ganzen Stab von Konstrukteuren, Zeichnern, Technikern, Statikern und Laboranten. Aber er hält die Fäden in der Hand. Auf seinem Schreibtisch häufen sich die Zeichnungen und Entwürfe, die Berechnungen und Prüfprotokolle. Er muss sie sichten und prüfen, für gut befinden oder verwerfen. Er darf keinen Fehler übersehen.

Er muss die Maschinen, die auf den Reißbrettern Gestalt annehmen, bis in ihre kleinste Schraube genau kennen. Er trägt die letzte Verantwortung für jede Konstruktion.

Horst Bendix ging mit Schwung an seine neue Aufgabe heran. Auf den vielen Baustellen unserer Republik verlangte man nach neuen leistungsfähigen Turmdrehkränen. Die Techniker des Kirow-Werkes machten sich an die Arbeit. Ihre Aufgabe war nicht einfach.

Bei der Konstruktion eines solchen Turmdrehkranes hatten sie mehrere Dinge gleichzeitig zu beachten.

Es genügt nicht, den Kran mit ausreichend starken Elektromotoren auszurüsten, damit er schwere Lasten heben kann. Das ist das kleinste Problem. Aber ein Turmdrehkran darf nur wenig Raum auf den Baustellen einnehmen. Dennoch muss er mit seinem Ausleger den gesamten Baukomplex erreichen können.

Er muss auf Schienen neben der aufwachsenden Häuserfront entlangfahren. Nach beendeter Arbeit soll er schnell wieder an anderer Stelle eingesetzt werden. Also muss man ihn auf- und abbauen können, ohne dass man ihn dabei auseinandernehmen braucht. Schließlich muss man den Kran im zerlegten Zustand auf der Straße transportieren können.

## 6.5 Und wenn er kippt?

Eines der wichtigsten Probleme aber, mit denen sich die Konstrukteure auseinanderzusetzen hatten, war die Standsicherheit des Kranes. Sieht man ihn aus einiger Entfernung auf, dann gleicht sein schlanker Turm einem aufgestellten Bleistift. Hat niemand Angst, dass er umkippt?

Machen wir einen einfachen Versuch! Stellen wir einen langen Bleistift mit seiner kleinen Grundfläche auf eine Tischplatte! Gewiss, wenn wir eine glatte Unterlage haben, dann bleibt der Bleistift stehen. Aber wir brauchen ihn nur leicht anzublase, und schon fällt er um.

Ein Turmdrehkran aber hat einen Ausleger, der viele Meter seitwärts ausladet, er schwenkt und fährt und trägt außerdem noch das schwankende Gewicht von mehreren tausend Kilopond an seinem Lashaken.

Trotzdem darf er auf keinen Fall umstürzen. Deshalb müssen die Konstrukteure dem Kran eine große Standsicherheit verleihen.

Ließ sich diese Aufgabe überhaupt lösen?

Die Techniker und Ingenieure schafften es. Sie wussten, wovon die Standsicherheit eines Körpers abhängt; mit anderen Worten, sie konnten genau berechnen, wann ein Körper sein Gleichgewicht verliert und umfällt.

Unter welchen Bedingungen geschieht das?

Wir schneiden aus einer Pappe ein beliebig geformtes Stück aus, zum Beispiel ein unregelmäßiges Dreieck oder ein Trapez. Dieser Körper soll nur auf der Spitze eines Bleistiftes aufliegen, aber nicht herunterfallen.

Das ist nur in einem einzigen, ganz bestimmten Punkt möglich. Den müssen wir finden! Wir balancieren das Pappstück so lange auf der Bleistiftspitze aus, bis es darauf liegen bleibt. Das wird nicht auf Anhieb gelingen.

Man braucht dazu etwas Geduld und eine ruhige Hand.

Aber wenn uns das Kunststück schließlich gelungen ist, befindet sich die Pappe im Gleichgewicht. Sie ruht dann mit ihrem Schwerpunkt auf der Spitze.

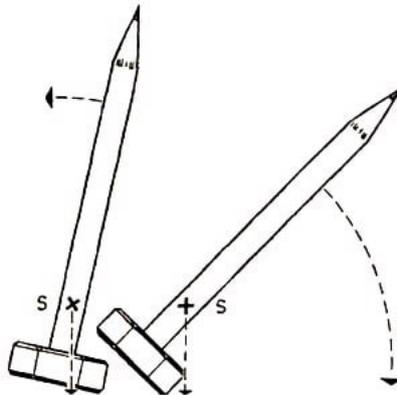
Jeder Körper hat so einen Schwerpunkt. Wir brauchen ihn nur zu unterstützen, wenn er im Gleichgewicht bleiben soll. Wir müssen uns nämlich im Schwerpunkt die gesamte Schwere des Körpers, sein ganzes Gewicht, vereint denken.

Der Schwerpunkt hat immer das Bestreben, die tiefste Lage einzunehmen, die ihm nur möglich ist. So liegt bei unserem langen Bleistift, wie wir durch Ausbalancieren leicht feststellen können, der Schwerpunkt in der Mitte. Steht der Bleistift aufrecht, dann befindet sich der Schwerpunkt ungefähr zehn Zentimeter über der Tischplatte.

Eine kleine Erschütterung, und schon nimmt der Schwerpunkt die Gelegenheit wahr, sich auf die Tischplatte hinabzustürzen. Natürlich reißt er dabei den ganzen Bleistift mit sich.

Die gleiche Gefahr bestünde, wenn die Techniker einen hohen Stahlmast, einen Sendeturm, einen Schornstein oder einen Kran aufrichteten und den Schwerpunkt dabei nicht überlisteten; es gäbe Katastrophen über Katastrophen.

Aber die Techniker wissen, wie man den Schwerpunkt bändigen kann. Wir wollen das Gleiche mit dem Schwerpunkt eines Bleistiftes tun!



Erst wenn das Lot über die Unterstützungsfläche hinauszeigt, kippt der Bleistift um

Aus einer festen Pappe schneiden wir ein Quadrat von drei mal drei Zentimetern aus und leimen es als Fuß an den Bleistift. Nun steht die dünne Säule auf einer weit größeren Fläche als vorher. Und jetzt können wir den Bleistift ruhig etwas antippen; wir können ihn sogar um einige Grad aus seiner senkrechten Lage kippen, er wird nicht umfallen, sondern wieder in seine alte Lage zurückpendeln. Die größere Unterstützungsfläche erhöht also seine Standfestigkeit.

Können wir noch etwas tun, um die Standfestigkeit zu erhöhen?

Wir suchen eine oder zwei große, dicke Schraubenmuttern und schieben sie über den Bleistift, so dass sie die Pappscheibe beschweren.

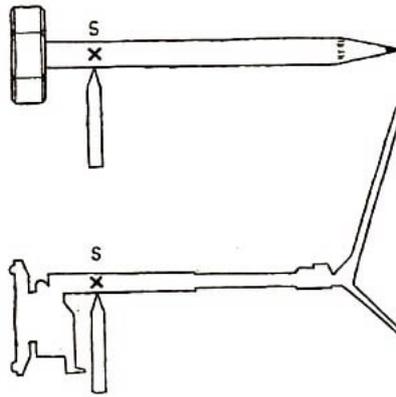
Befindet sich der Schwerpunkt noch dort, wo er ursprünglich war?

Suchen wir ihn! Balancieren wir unser kleines Modell geduldig aus! Der Schwerpunkt hat sich an eine ganz andere Stelle geflüchtet; er liegt jetzt wesentlich tiefer. Und gerade das wollten wir erreichen. Unser Modell hat dadurch einen viel sicheren Stand bekommen. Wir können es ziemlich weit zur Seite neigen; es richtet sich wieder auf wie ein Stehaufmännchen und fällt nicht um.

Ein Körper steht also um so fester, je größer seine Unterstützungsfläche ist und je tiefer sein Schwerpunkt liegt. Deshalb stattet man Turmdrehkrane mit einem breiten Unterwagen aus, auf dem möglichst alle schweren Maschinenteile, Motoren und Winden untergebracht sind.

Außerdem kann man den Wagen mit besonderen Ballaststücken aus Eisen oder Beton beschweren. Aber bei unseren Versuchen mit dem Bleistift konnten wir feststellen, dass er trotz seiner breiten, beschwerten Standfläche bei einer ganz bestimmten Neigung umfällt. Das gleiche würde auch bei einem Turmdrehkran passieren. Das geschieht jedoch nicht zufällig, sondern ganz gesetzmäßig, und deshalb können die Ingenieure diesen Moment des Umkippens genau bestimmen.

Wir müssen uns an dem Bleistift ein vom Schwerpunkt ausgehendes Lot vorstellen. Dieses Lot bleibt immer senkrecht, auch wenn wir den Bleistift neigen. Solange das Lot innerhalb der Standfläche bleibt, richtet sich der Bleistift immer wieder auf. Erst wenn das Lot über die Kippkante hinauszeigt, fällt der Bleistift um.



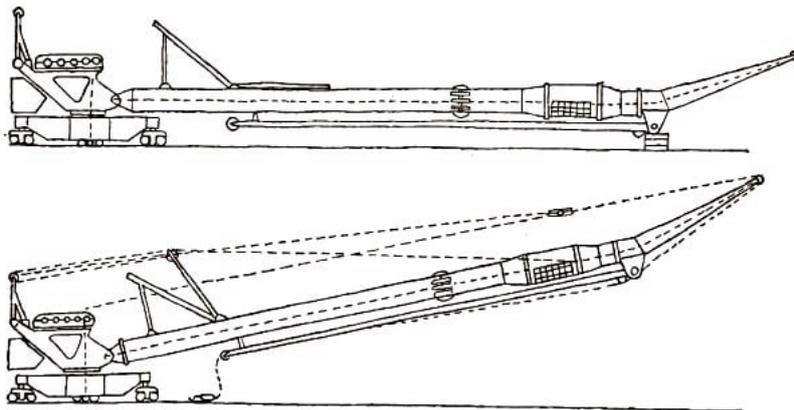
Ausbalancieren des Schwerpunktes

Natürlich können die Ingenieure diesen Moment des Kippens an einem Kran nicht durch einen solchen Versuch herausfinden. Sie müssen ihn durch langwierige und komplizierte Berechnungen bestimmen.

## 6.6 Rapid III/1

Diesen und ähnlichen Problemen mussten Horst Bendix und die Techniker der Kirow-Werke zu Leibe gehen, als sie einen neuen Turmdrehkran bauten, den Kran Rapid III/1. Allmählich nahm der neue Kran auf den Entwurfsskizzen Gestalt an. Die technischen Zeichner standen unermüdlich an ihren Reißbrettern. Viele hundert Einzelteile waren zu zeichnen, maßstabgetreu und mit genauen Maßangaben versehen. Die fertigen Zeichnungen wurden vervielfältigt, und die Kopien gelangten in die Werkhallen.

Die Brigadiere, Meister und Arbeiter fassten sie mit öligen Fingern und studierten sie aufmerksam.



oben: Der Turmdrehkran "Rapid III/1" in Montagestellung mit niedergelegtem Turm

unten: Die Seilzüge werden eingeholt, und der Turm richtet sich auf

Ihre erfahrenen Blicke glitten über die Linien und Zahlen. In ihrer Vorstellung spiegelte sich bereits das fertige Werkstück. Was die Techniker und Konstrukteure erdacht hatten, nahm unter den fachkundigen Händen der Arbeiter Form und Gestalt an: Der Rapid III/1 ging in den Musterbau.

Eines Tages war es dann soweit. Der erste Kran konnte das Werkgelände verlassen. Sein

30 Meter langer Turm, ein glattflächiger und formschöner Hohlkörper, ruhte transportbereit umgelegt und mit eingezogenem Ausleger auf zwei Fahrgestellen.

Eine schwere Zugmaschine manövrierte den Kran in langsamer Fahrt durch die Straßen zu seiner ersten Baustelle. Hier sollte er von den Bauarbeitern erprobt werden, ehe die Serienfertigung begann.

Die Arbeiter sahen gespannt zu, wie die Montagekolonne den Kran aufrichtete.

Der Unterwagen wurde auf ein 3,8 Meter breites Gleis gehoben. Er lief auf vier Räderpaaren und trug die Motorenausrüstung mit den Seilwinden. Stahlseile spannten sich vom Unterwagen bis zur Spitze des umgelegten Turmes und liefen dort über Rollen. Die Hubwerkswinde surrte und zog den Turm langsam in die Höhe. Die Zuschauer staunten.

Donnerwetter, das war Tempo! Der Kran richtete sich ja gewissermaßen von selbst auf! Nun brauchte nur noch der Ausleger ausgeschwenkt zu werden.

Der Kranführer verschwand in dem Rohrturm, stieg drinnen eine Eisenleiter hinauf und winkte, 25 Meter über dem Erdboden, aus der Glaskanzel.

Dort befanden sich alle Bedienungsmechanismen für die Hubwinde, das Schwenkwerk und die Fahrmotoren.

Rapid III/1 konnte seine Arbeit aufnehmen.

Er bewährte sich vorzüglich, und bald begann sein Serienbau. Heute ist dieser elegante und leistungsfähige Kran, der Lasten bis zu 4000 Kilopond über 30 Meter hochhebt, fast auf jedem Bauplatz zu finden.

## 6.7 Das Meisterstück - Rapid V/2

Horst Bendix und seine Techniker gaben sich mit dem Erfolg nicht zufrieden.

Gewiss, der Rapid III/1 erntete überall Lob und Anerkennung. Aber nun wurden Krane verlangt, die größere Höhen erreichten, mit denen man Hochhäuser und mächtige Industrieanlagen in kürzester Zeit errichten konnte. Eine Arbeitsgemeinschaft mit Horst Bendix an der Spitze übernahm die Aufgabe, einen solchen Kran zu schaffen.

Er sollte alle bisherigen Konstruktionen übertreffen, vor allem sollte er leicht und schnell versetzt werden können. Neun Konstrukteure, zwei Technologen und drei Meister arbeiteten an den Plänen und Entwürfen und schufen in sozialistischer Gemeinschaftsarbeit einen Riesenkran, den Rapid V/2.

Dieser Gigant schlägt die leistungsfähigsten Krane Westdeutschlands weit aus dem Felde; auch den großen "Peiner"-Kran.

Schon im Dezember 1960 lief der Serienbau dieses Kranes an. Auf dem Freigelände der Technischen Messe in Leipzig, im Frühjahr 1961, wurde er zum Wahrzeichen unseres volkseigenen Schwermaschinenbaus. Er rief Staunen und Tausende von Fragen bei allen Besuchern hervor. Die Fachleute aus den Kirow-Werken gaben bereitwillig Auskunft.

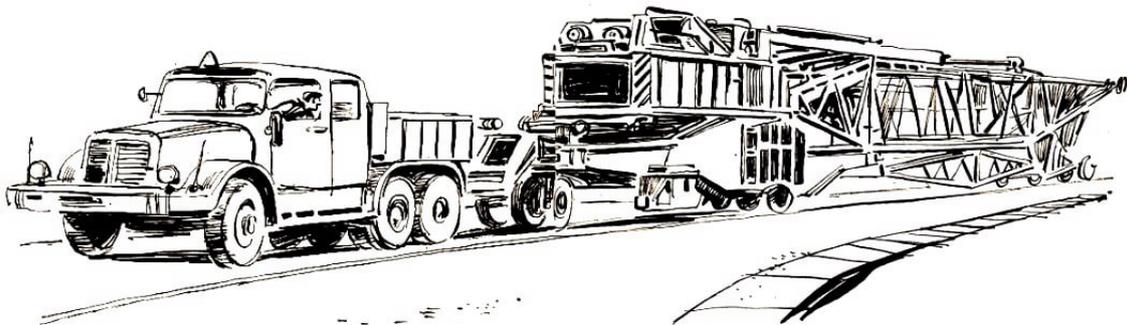
Man sah ihnen an, wie stolz sie auf die Leistung ihres Werkes waren. Aber nüchtern und sachlich nannten sie die technischen Daten, die die Zuhörer aufhorchen ließen.

Der Kran wurde nach dem Baukastenprinzip gebaut, das heißt, er besteht aus we-

nigen immer wiederkehrenden, gleichartigen Einzelteilen. Das verbilligt nicht nur die Produktion des Kranes. Dadurch ist es auch möglich, den Turm verschieden hoch aufzustecken. Man kann ihn bis auf 90 Meter verlängern, und damit hat er die Höhe des Völkerschlachtdenkmals zu Leipzig erreicht.

Der Ausleger kann verschiedene Ausladungen annehmen, seine weiteste beträgt 44,4 Meter. Die Vollsichtkanzel für den Kranführer ist nicht unbeweglich an einen Ort gebunden. Wenn der Bau in die Höhe wächst, muss ja auch der Kranführer einen erhöhten Standpunkt erhalten, damit er eine gute Übersicht hat.

Die Kanzel der Rapid V/2 vermag in dem Turmgerüst, ähnlich einem Aufzug, aufzusteigen und kann fünf verschiedene Höhen einnehmen. So etwas hat es bei Turmdrehkränen noch nirgends auf der Welt gegeben. Der Höhenwechsel der Kanzel dauert nur fünf Minuten.



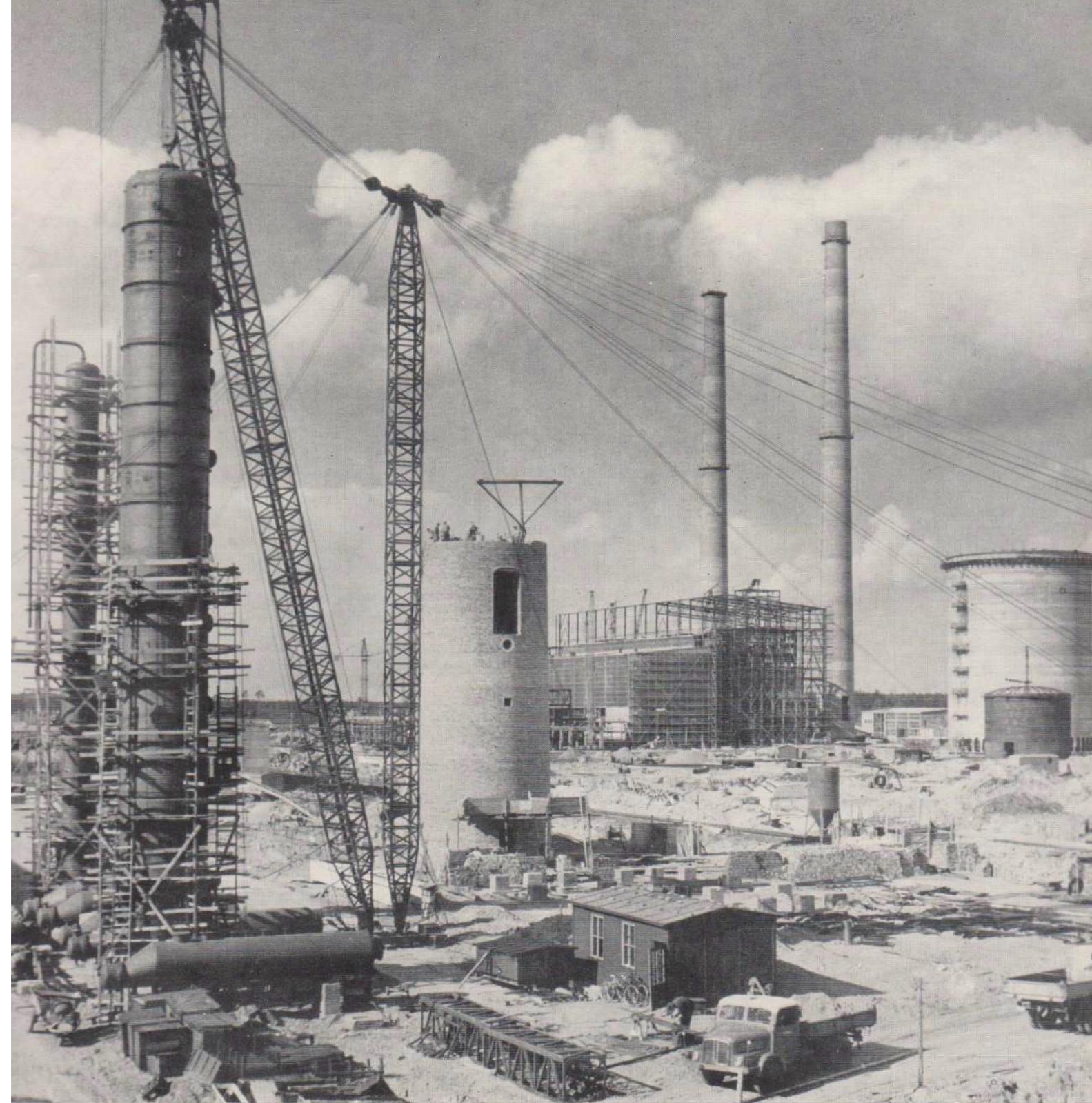
Will man aber diesen Riesenkran transportieren, so braucht man ihn nicht völlig auseinanderzunehmen. Man kann ihn, ebenso wie seine kleinen Brüder, umlegen und auf Fahrgestelle verladen. Allerdings muss der Turm für den Transport auf 40 Meter verkürzt werden. Das bereitet bei der Baukastenkonstruktion dieses Kranes keine Schwierigkeiten.

Die ersten dieser Riesenkrane wurden in Berlin eingesetzt, um dort beim Wiederaufbau der Stadt zu helfen. Das geschah im Mai des Jahres 1961.

Am Tag der Befreiung wurde der dritte Rapid V/2 den Berliner Bauarbeitern übergeben. Seitdem gingen viele dieser Krane auf die Reise von Leipzig in die großen Städte und an die Bauplätze unserer Republik. Ja, man findet sie auf den Bauplätzen in aller Welt.

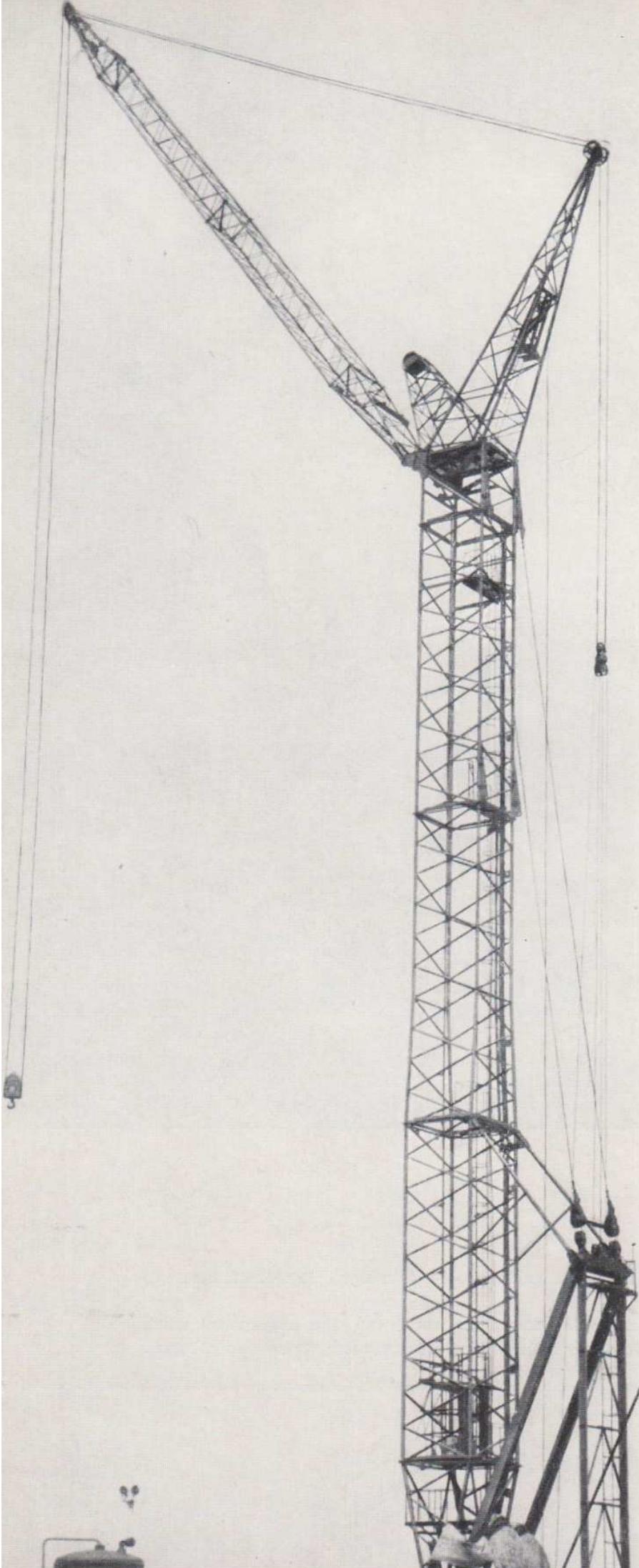
In Berlin, rings um den Fernsehturm am Alexanderplatz, haben diese Riesen ein neues Stadtzentrum aufbauen helfen. Hier haben Architekten und Bauarbeiter prächtige Bauten errichtet, Bauten, die in die sozialistische Zukunft unserer Hauptstadt weisen. So haben die Riesenkrane großartig ihre Bewährungsprobe bestanden. Und immer noch finden sich dort, wo gebaut wird, Zaungäste ein, um die Arbeit des Rapid V/2 zu bestaunen.

Doch wer von den Zuschauern weiß, dass sein Konstrukteur, der Diplomingenieur Horst Bendix, als junger Arbeiter an der Werkbank gestanden hat. Sein Weg vom Schlosserlehrling zum Chefkonstrukteur ist der Weg eines tüchtigen, fleißigen Menschen im Arbeiter-und-Bauern-Staat.



Derrickkran bei Montagearbeiten auf dem Baugelände des künftigen Erdölkombinats in Schwedt.

Ein Derrickkran besteht aus einem senkrechten Mast, der mit Stahlseilen abgespannt wird, und einem beweglichen Ausleger. Der Ausleger ist am Fuße des Mastes schwenkbar gelagert. Derrickkrane können Lasten bis zu 40 000 Kilopond bewältigen.

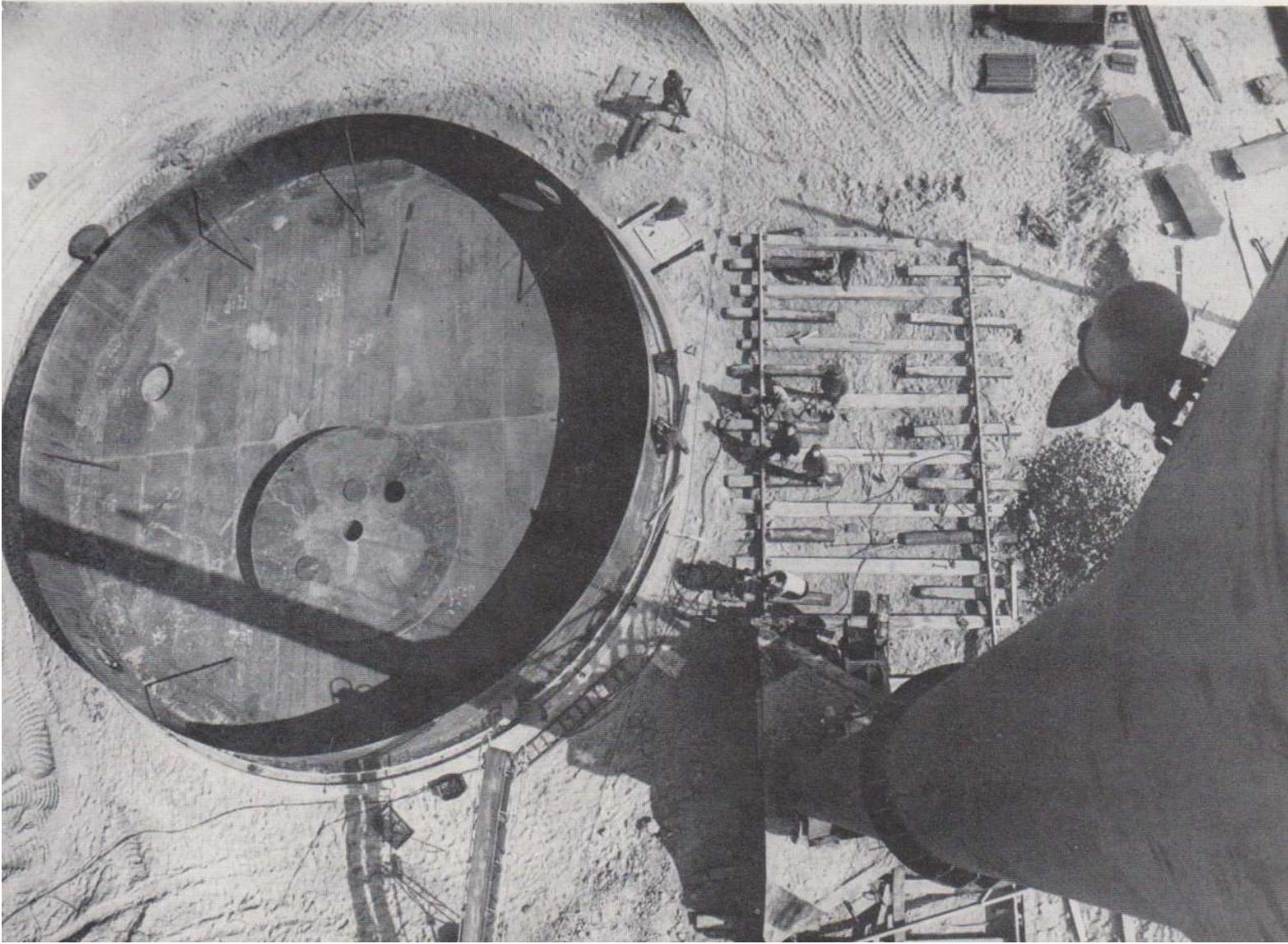
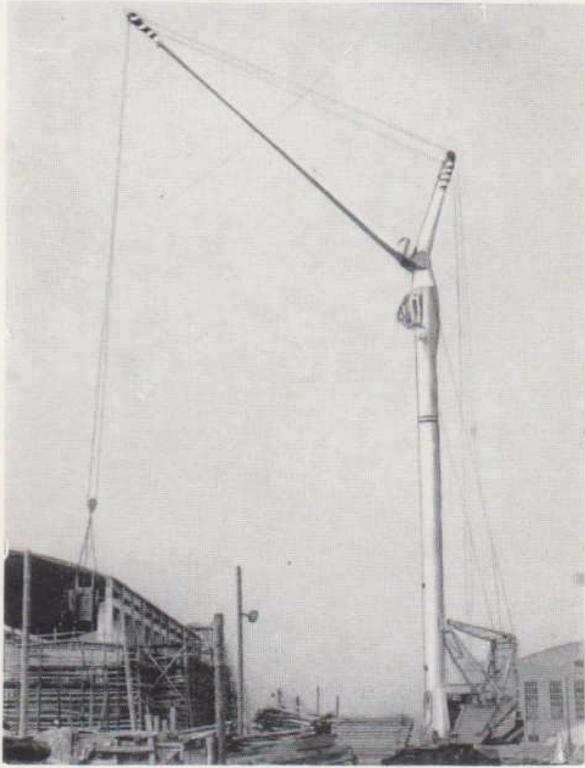


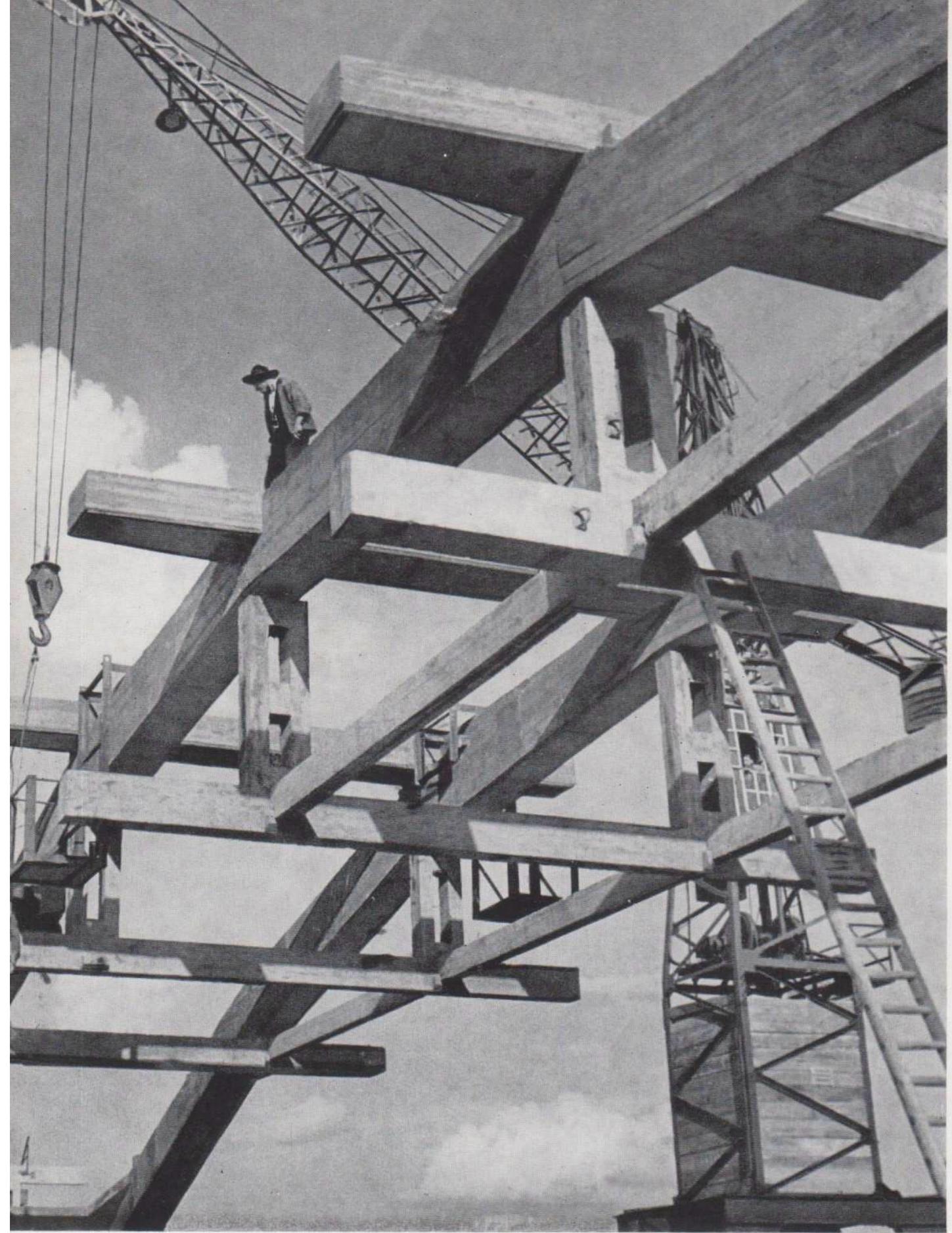
Links: Der Turmdrehkran „Rapid V“. Dieser Riese gehört zu den leistungsfähigsten transportablen Großkränen der Welt. Er wurde von den Technikern der „S. M. Kirow-Werke“ in Leipzig konstruiert

Rechts: „Rapid III“ ist der kleinere Bruder des „Rapid V“

Rechts außen: Auf den Zentimeter genau wird die schwere Betonplatte aufgesetzt

Rechts unten: Blick aus der hochgelegenen Führerkabine des Turmdrehkranes „Rapid III“. Am Fuße des Turmes montieren Arbeiter das Gleisbett für den Unterwagen. Links im Bild erkennen wir einen Erdöltank während der Anfangsmontage

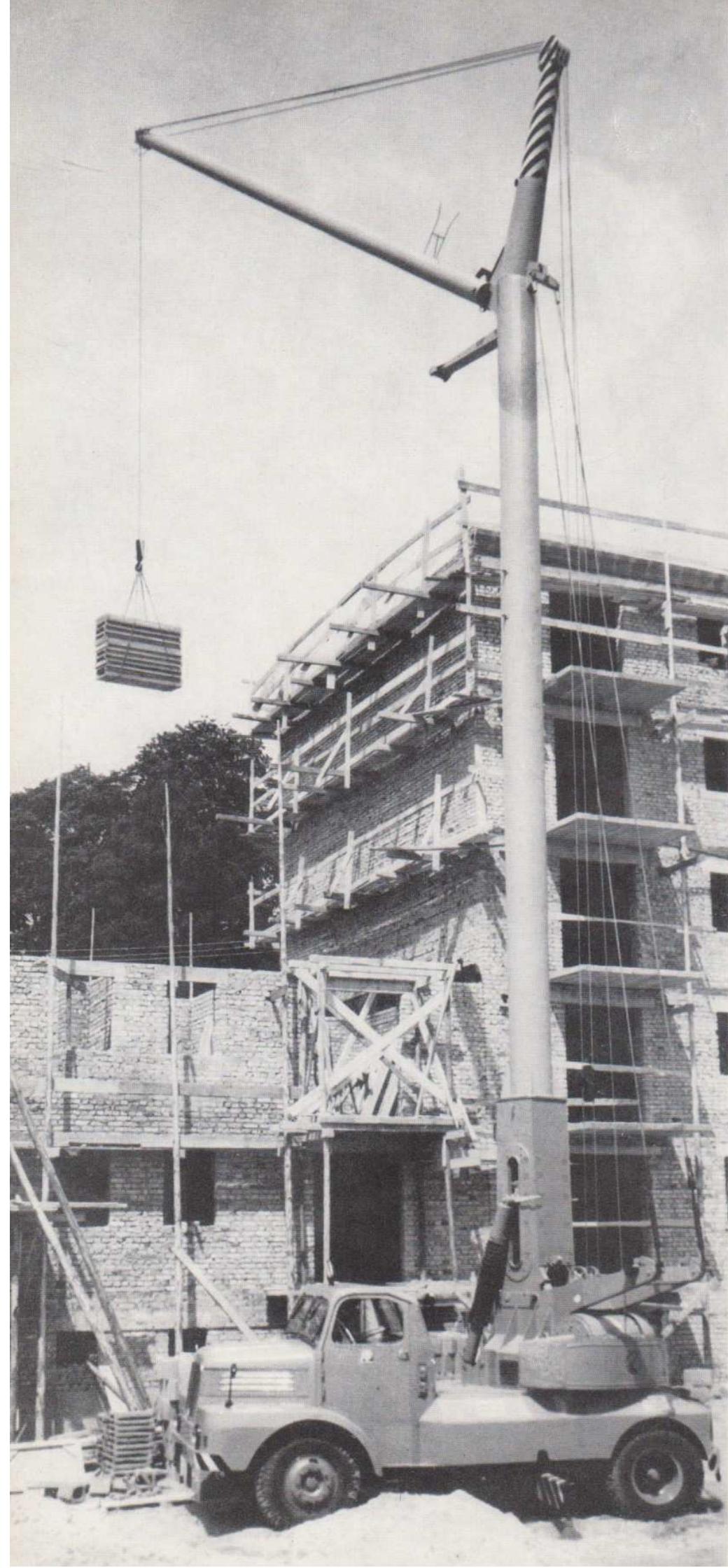




Für die Montage von Großbauten sind Turmdrehkrane unentbehrlich geworden



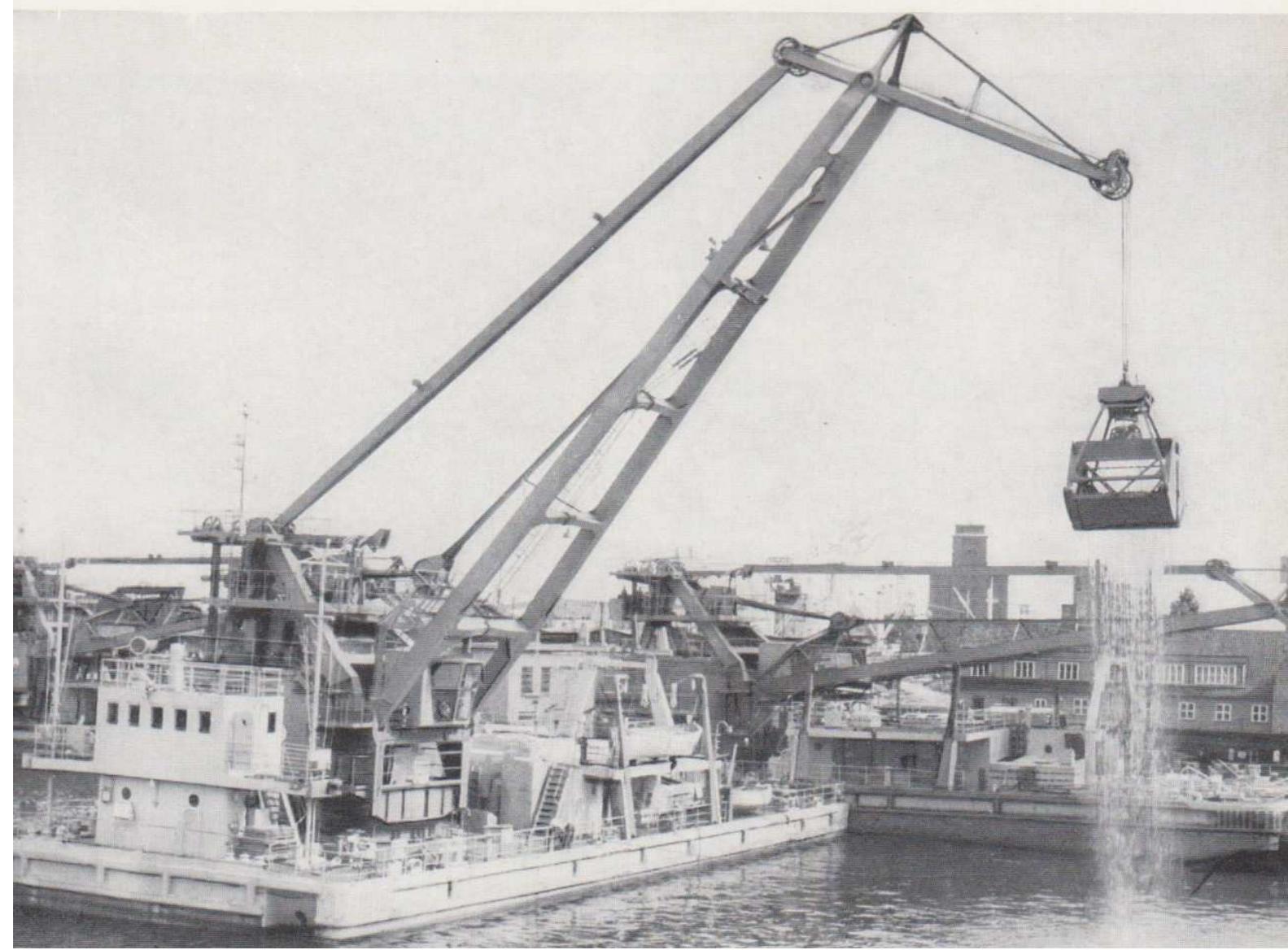
Mobilkrane im Depot. Diese Krane fahren auf Gleisketten und können deshalb in jedem unwegsamen Gelände eingesetzt werden

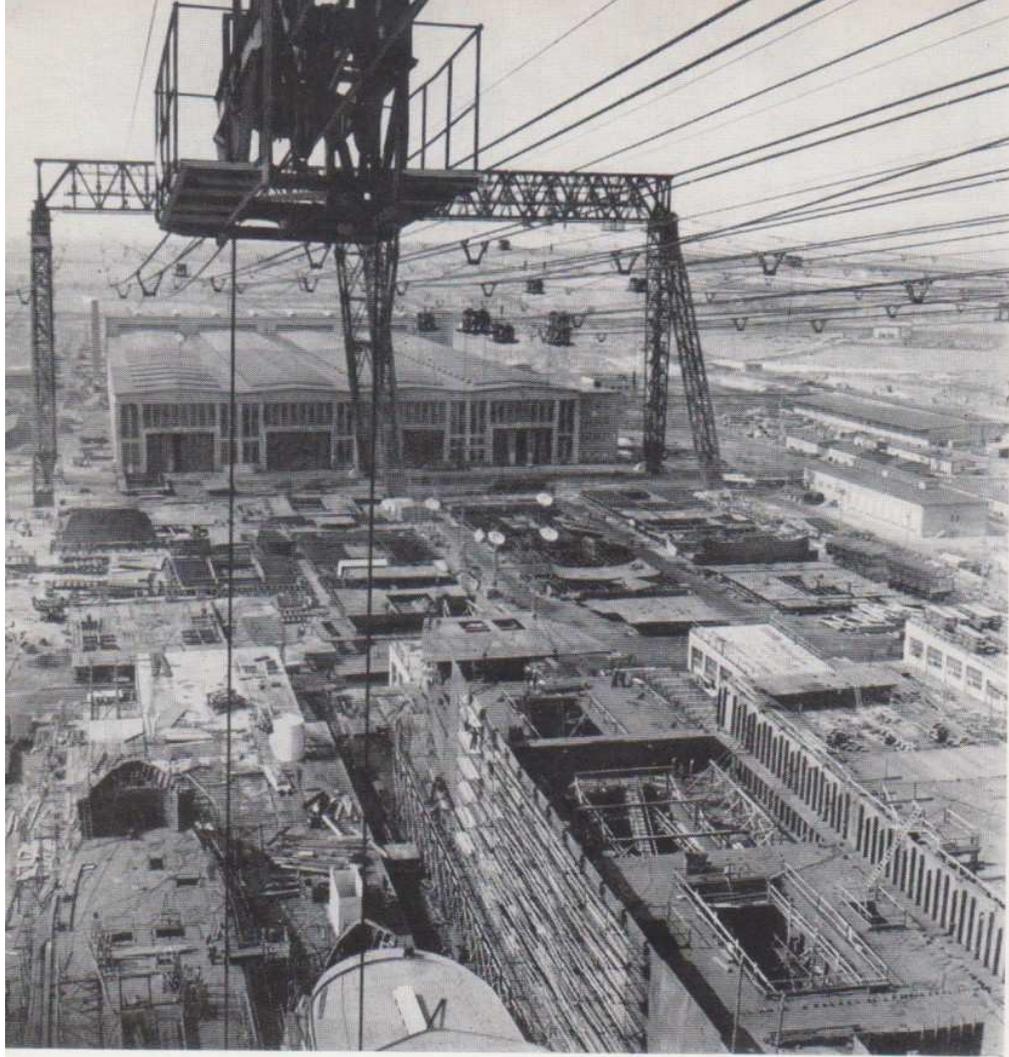


Links: Der Autokran „Panther“ kann schnell seinen Einsatzort wechseln. Hier wird er als Turmdrehkran verwendet. Für den Transport muß der hohe Turm waagrecht umgelegt werden, wie die Zeichnung auf Seite 187 zeigt

Rechts: Eisenbahndrehkrane haben meist diesel-elektrischen Antrieb und können selbständig die Schienenwege befahren. Sie werden für Aufräumarbeiten und Reparaturarbeiten herangezogen oder als Unfallkrane verwendet

Unten: Schwimmkrane sind auf Werften und in Häfen anzutreffen. Ihre Aufgaben sind vielseitig: Schüttgüterumschlag von einem Schiff auf ein anderes. Reparatur an Schiffen, Bergen gesunkener Schiffe und Bau von Hafenbecken, Molen oder Speichern

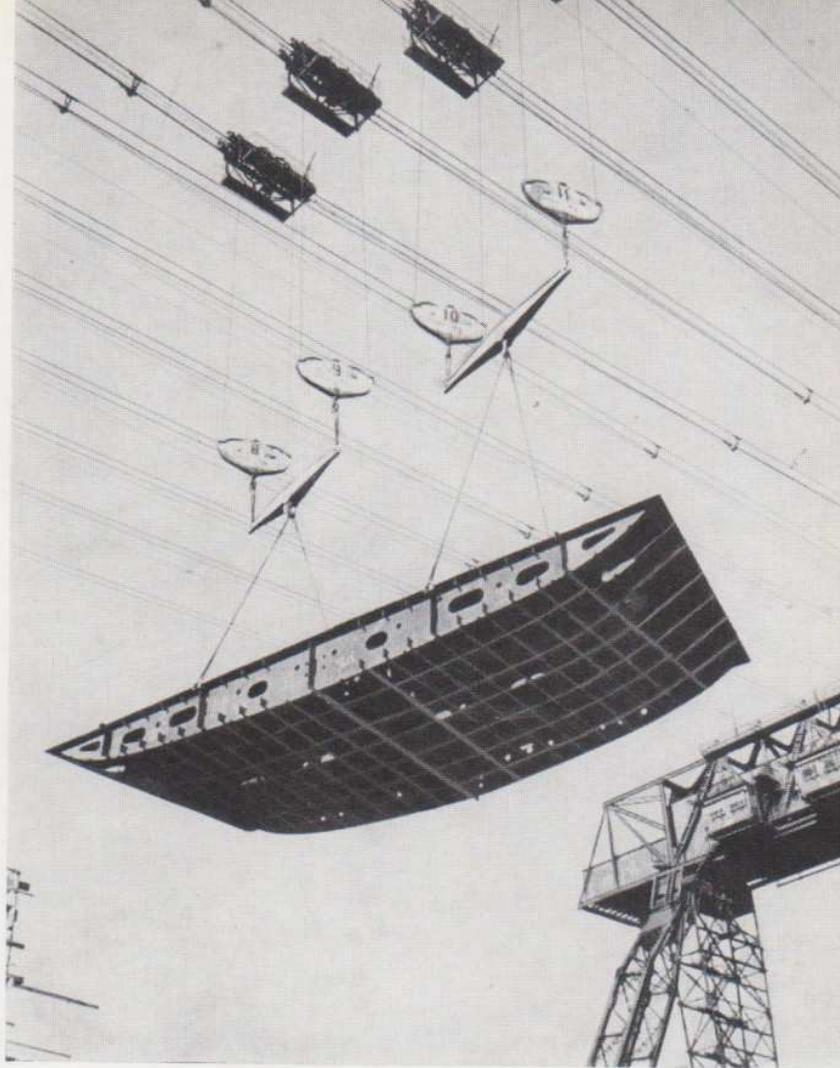


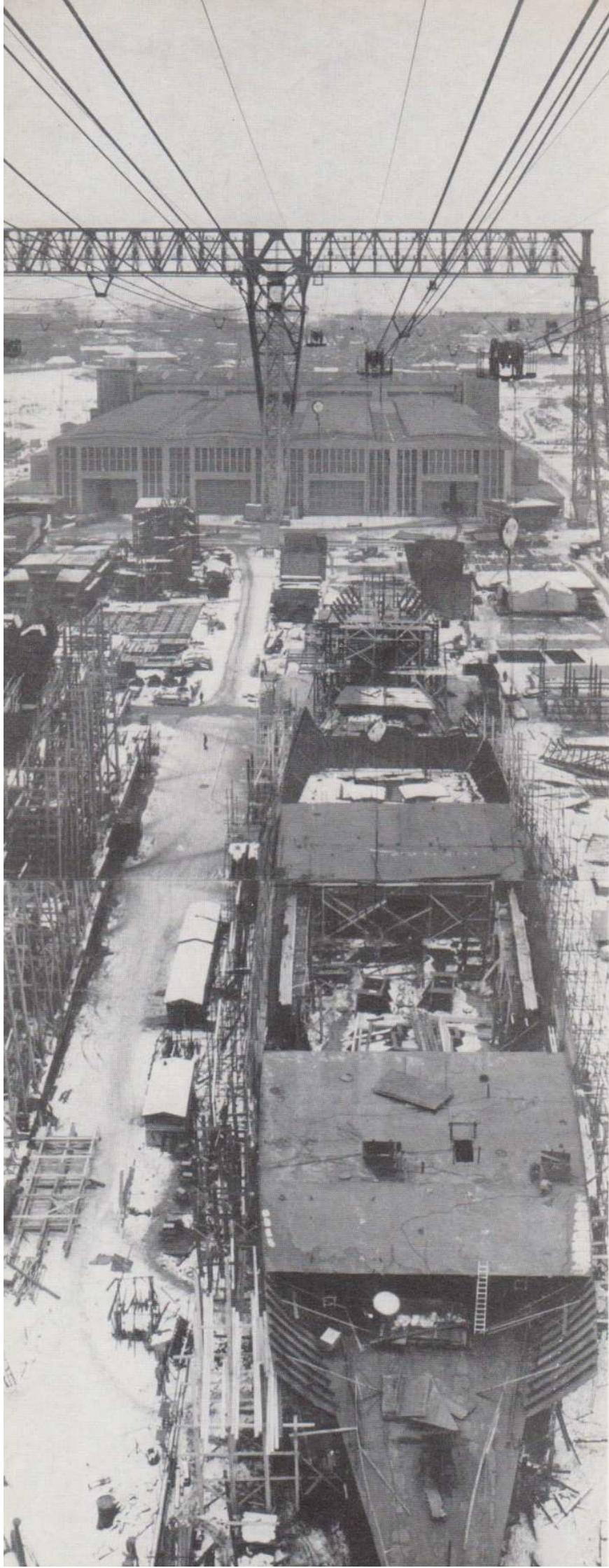


Links: Blick auf die Helling der Warnow-Werft. Verwirrend ist die Vielzahl der Stahlseile eines Kabelkranes. Unser Bild zeigt (links oben) eine der gewaltigen Laufkatzen

Rechts: Vier Laufkatzen tragen die schwere Schiffssektion sicher über die Helling

Unten: Das Herzstück der Werft – die Führerkanzel des Kabelkranes. Von hier aus werden die Laufkatzen gesteuert – eine verantwortungsvolle Arbeit für die Kranführerin





Blick auf die „Mathias-Thesen-  
Werft“ in Wismar. Auf der Hel-  
ling liegt der Schiffsrumpf un-  
seres heutigen Urlauberschiffes  
„Fritz Heckert“

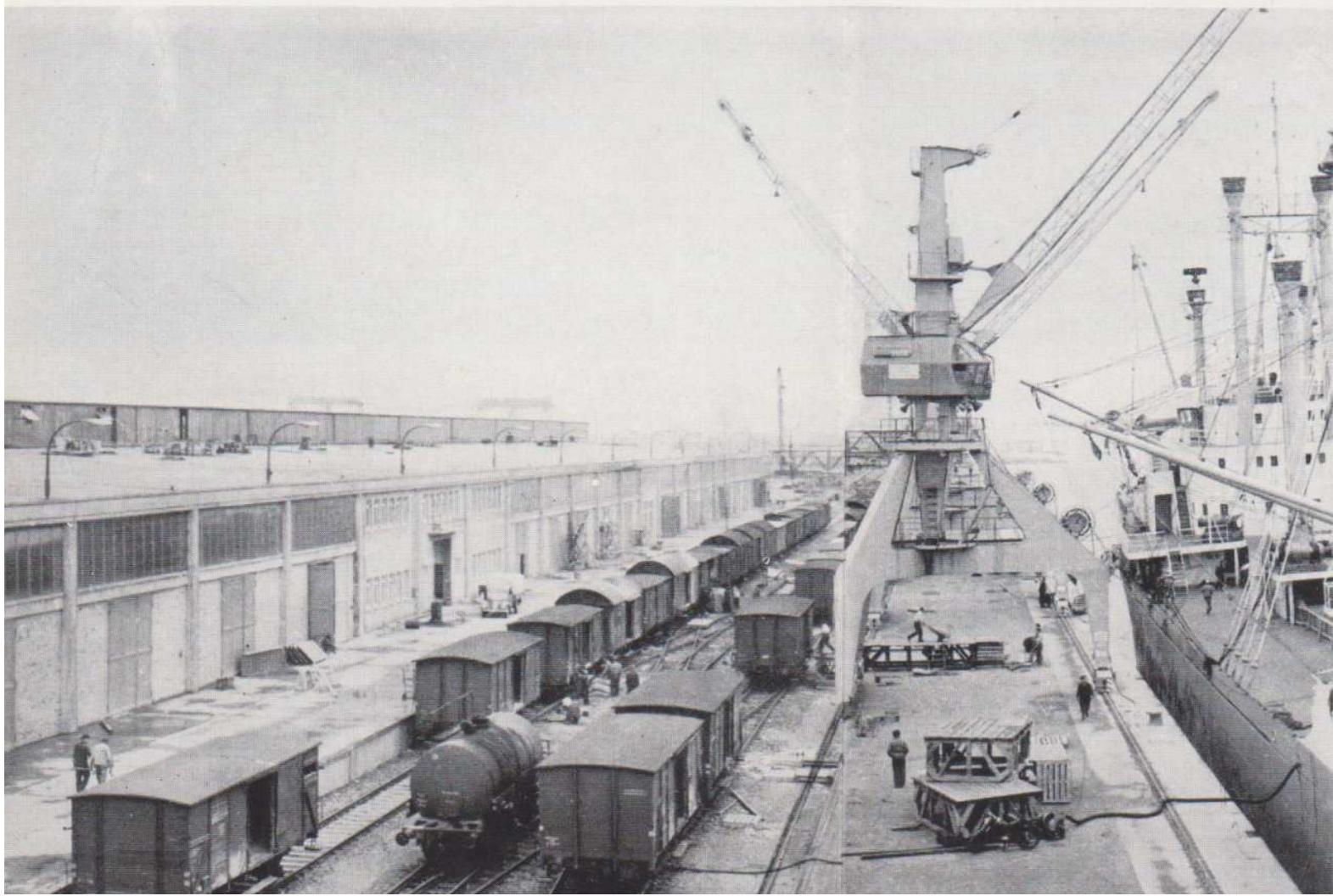


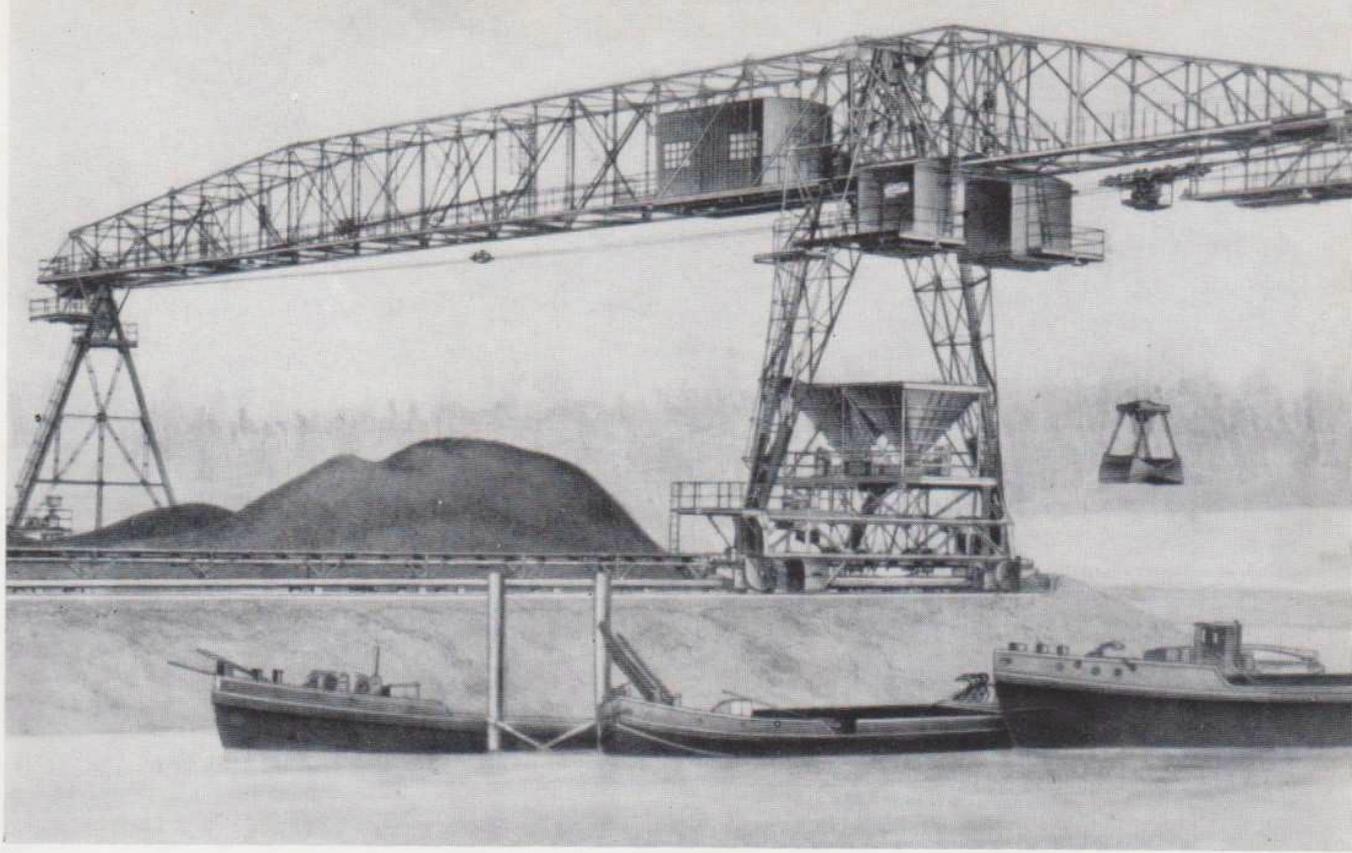
Formschön, elegant, leistungsfähig – die Wippdrehkrane am Stückgutpier des Rostocker Hafens



Eine Verladebrücke. Im Vordergrund sind mehrere der gewaltigen Greifer für das Schüttgut zu sehen

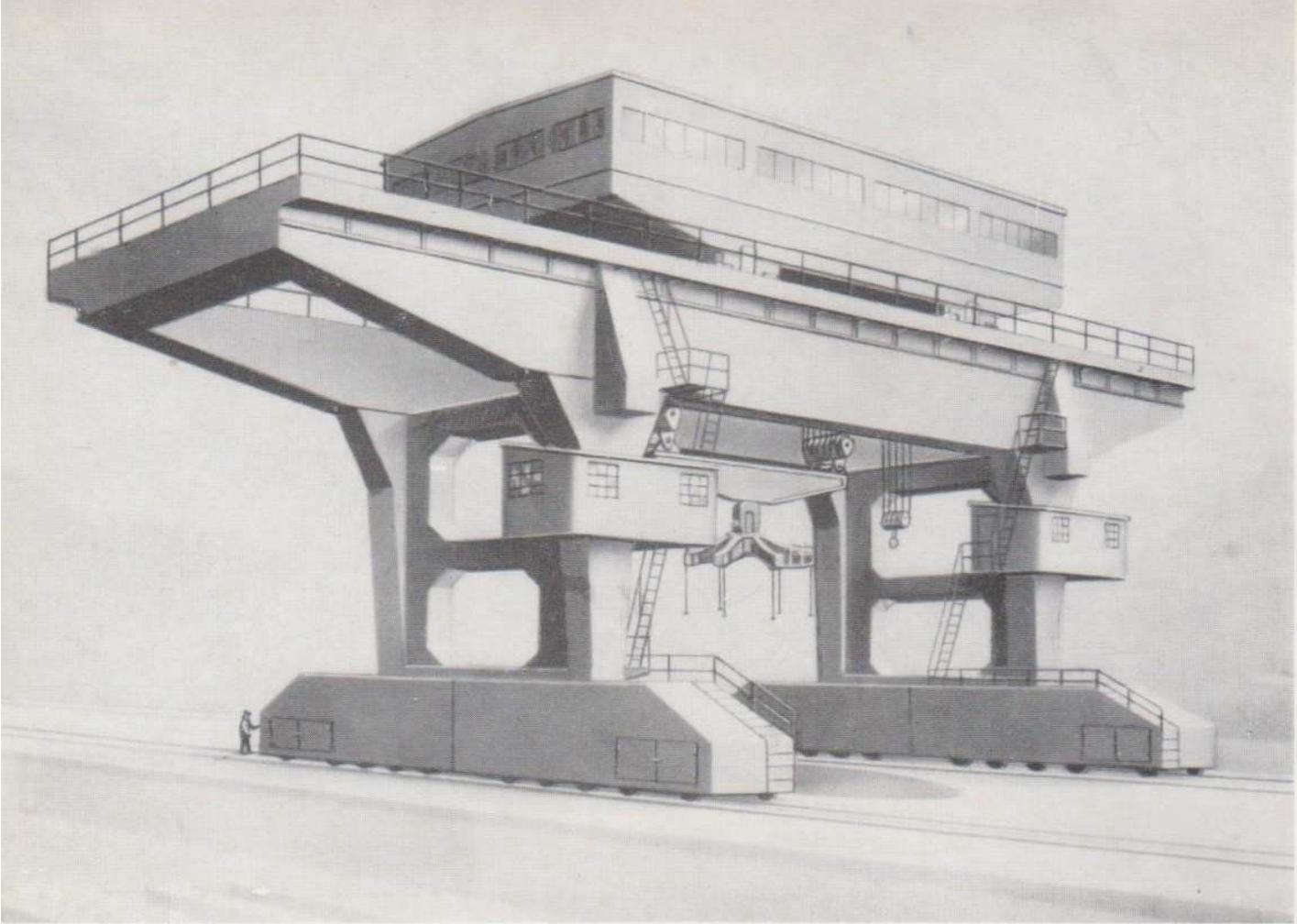
Unten: Im Rostocker Hafen werden täglich viele Tausend Tonnen Frachten gelöscht und auf die bereitstehenden Güterwagen geladen oder in Speichern (links im Bild) untergebracht





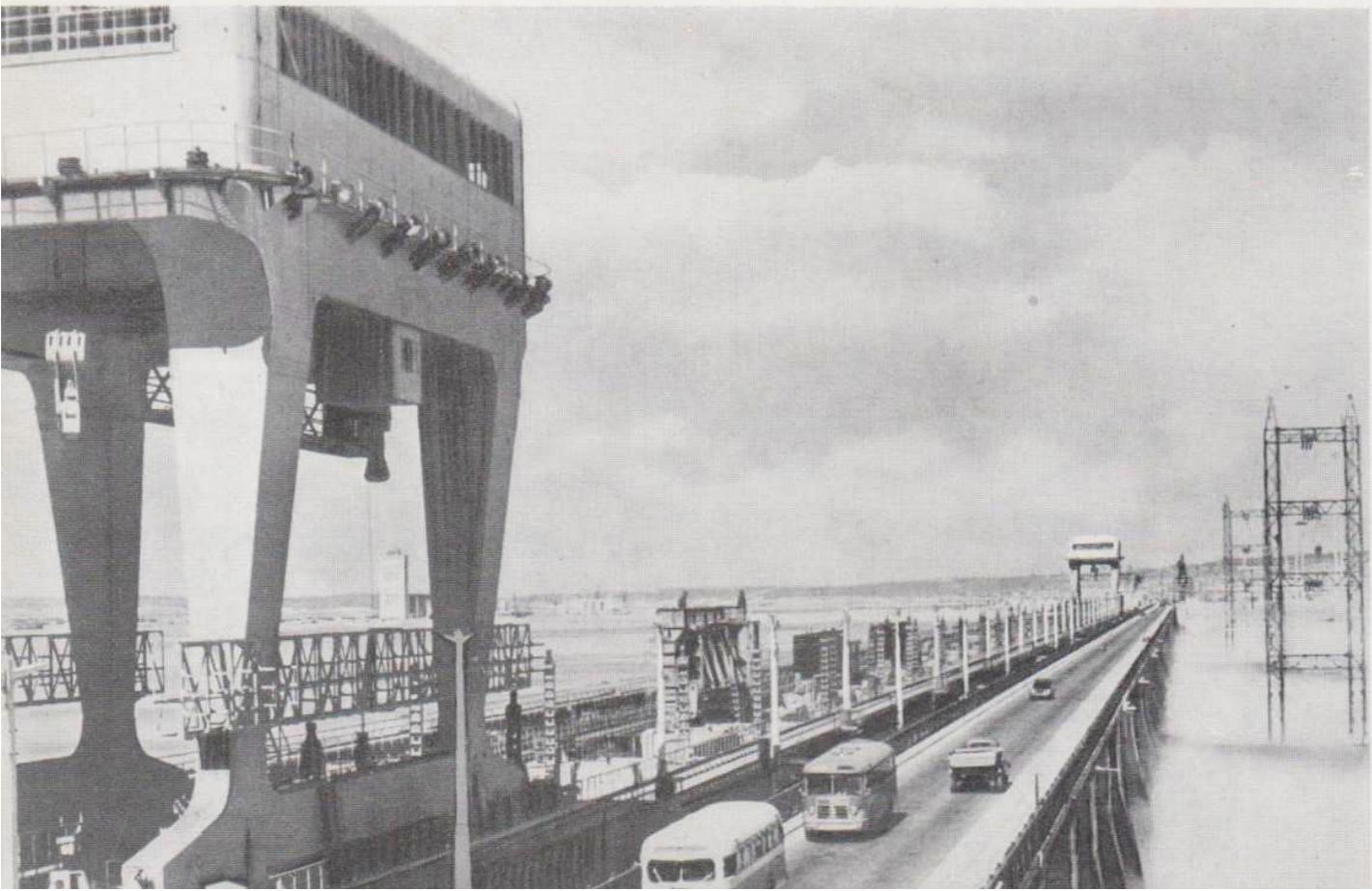
Brückenkabelkran für Schüttgüter

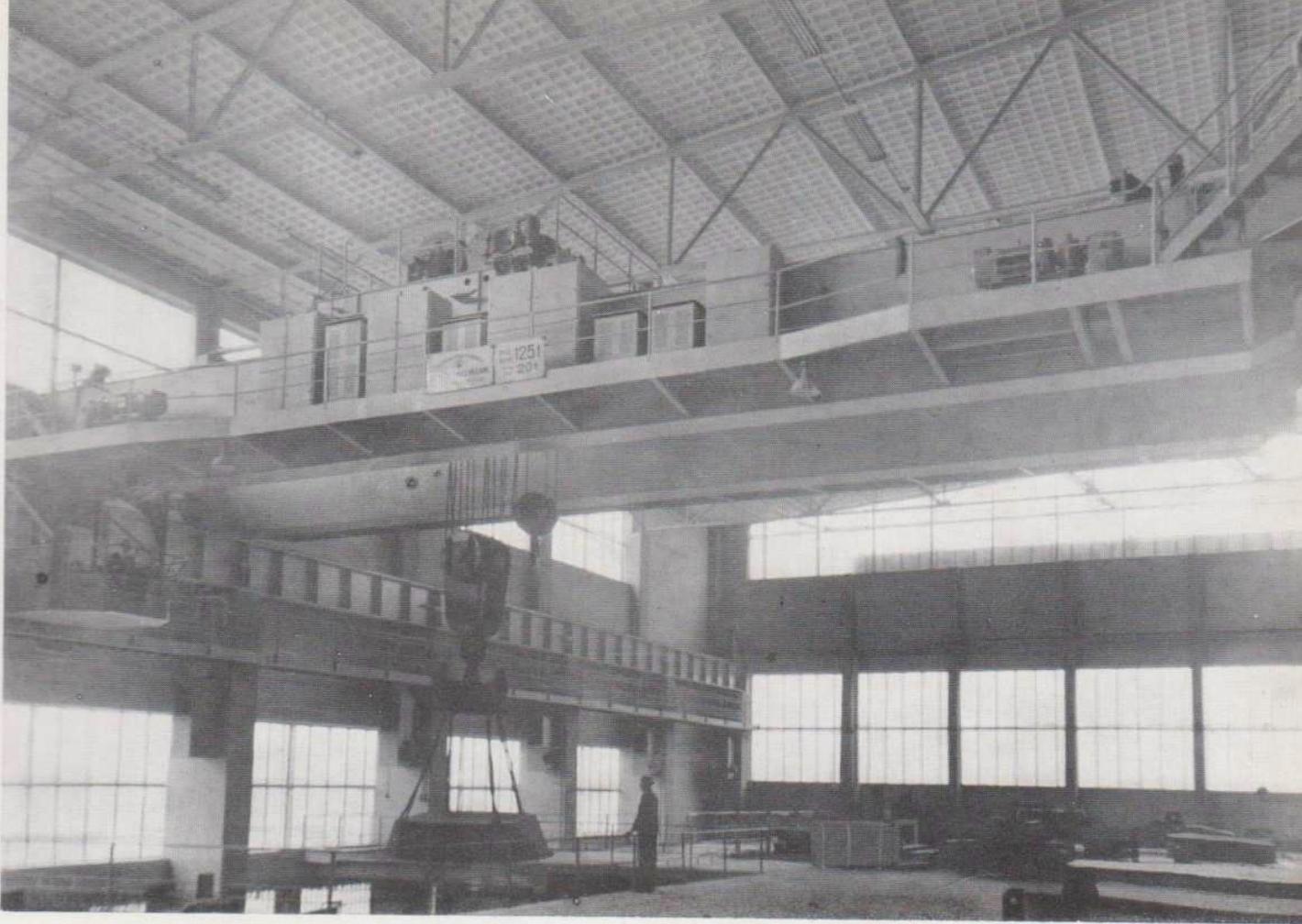




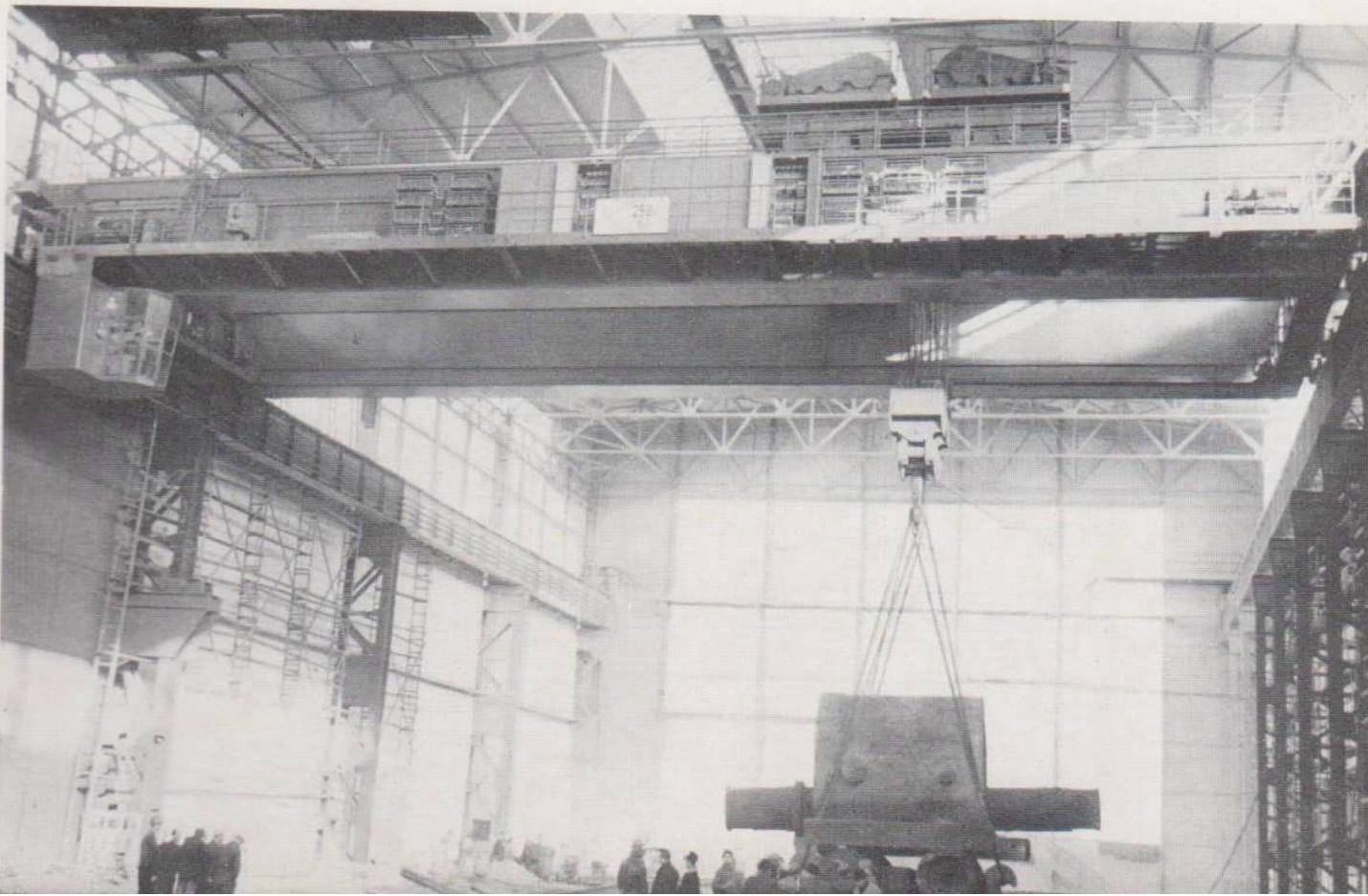
Ein gigantischer Laufkran modernster Bauart

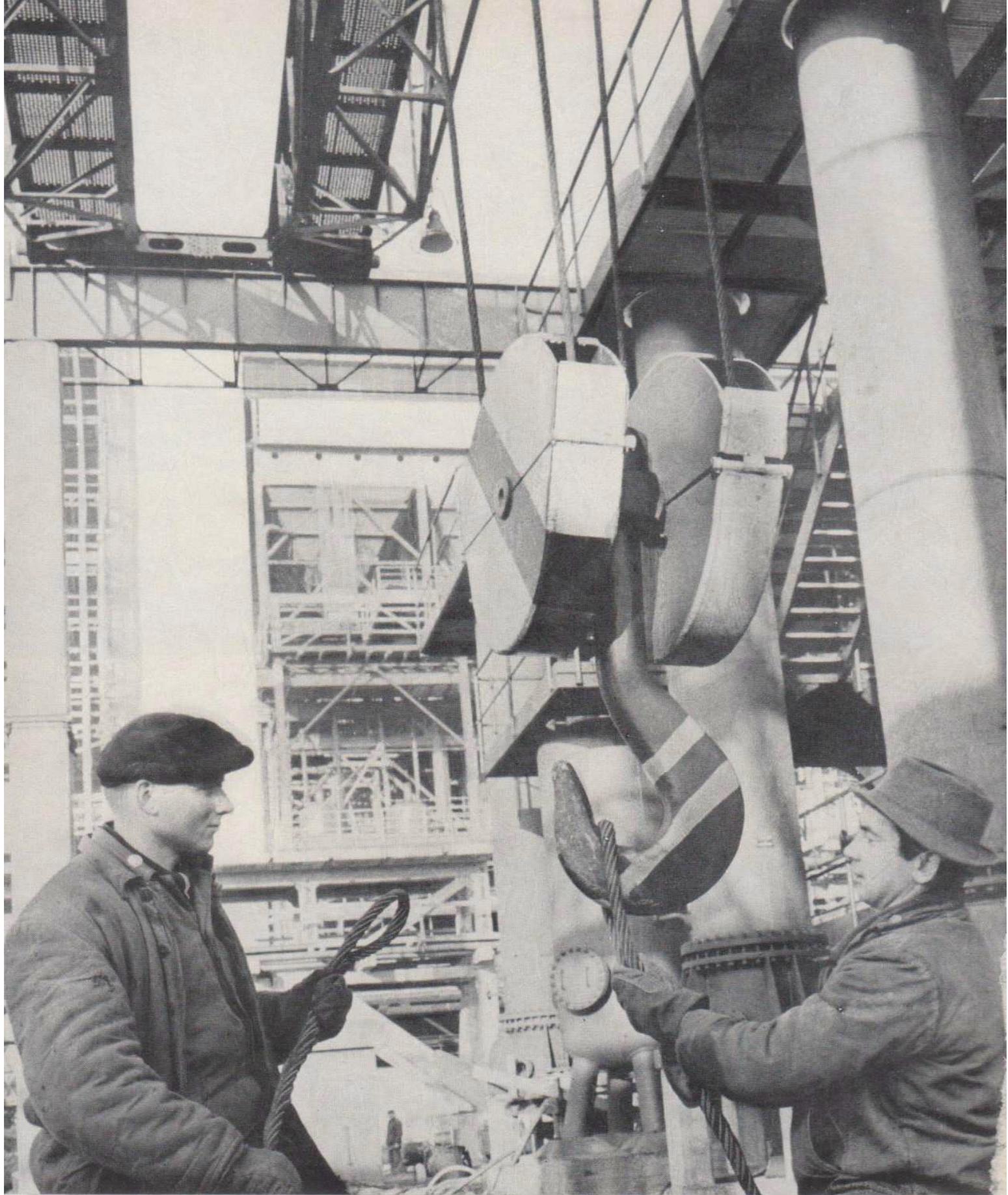
Unten: Portalkrane aus der DDR auf dem Kuibyschew-Damm in der Sowjetunion. Diese Krane werden als Staumauerkrane verwendet und dienen zum Transport von Maschinenteilen, Schiebern und anderen Kraftwerkseinrichtungen





Laufkrane sind bewegliche Stahlbrücken, die die ganze Länge einer Werkhalle befahren können. Auf der Brücke rollt eine Laufkatze. Der Führerstand befindet sich jeweils links im Bild





Die Unterflasche eines Laufkrans. Der Lasthaken hängt an zwei losen Rollen

## 7 Alte Stadt und neue Technik

### 7.1 Eine Büchse Ananas

Unsere Reise durch die Geschichte der Technik geht zu Ende. Wie mit Siebenmeilenstiefeln haben wir miteinander über 4000 Jahre durchgeilt; eine unvorstellbar lange Zeitspanne.

Der schaffende Mensch, einst Sklave und gepeitschtes Lasttier, hat sich zum Herrn über gewaltige Naturkräfte erhoben. Unermüdlich hat er gearbeitet und geforscht, diese Kräfte zu entdecken und nutzbar zu machen.

Sie sollten ihm helfen, denn er wollte das Joch der schweren körperlichen Arbeit abschütteln.

Ist dieser Traum in Erfüllung gegangen?

Noch längst nicht überall. Aber heute, im Zeitalter des Sozialismus, sind wir diesem Ziel nahe. Es wurden in unserer Republik Großtaten vollbracht. Man bewundert sie in aller Welt, und uns erfüllen sie mit Stolz.

Deshalb will ich von einem Erlebnis berichten.

Ich war mit Fred, dem Sohn unserer Nachbarsleute, gut befreundet. Deshalb freute ich mich, als, er schrieb, sein Schiff sei von Großer Fahrt zurück. Er komme auf Urlaub, und natürlich wolle er am Sonntagnachmittag mit uns Kaffee trinken. Meine Frau ging sofort einkaufen, denn sie wollte dem Besuch eine Festtorte backen. Als sie zurückkam, stellte sie eine Konservenbüchse auf den Tisch.

"Hier", sagte sie, "das wird eine Torte, die Fred nicht so schnell vergessen wird." Die Büchse trug ein buntbedrucktes Etikett. Das Wasser lief einem im Munde zusammen, wenn man es anschaute: appetitliche, saftige Fruchtscheiben, Ananasgewächse und eine farbige Schrift. Broken sliced pineapple, las ich, ananas op sap. In kleinen Buchstaben stand dann noch auf dem Etikett: Produkt aus Kuba.

Ich schlug den Atlas auf und betrachtete die langgestreckte kubanische Insel, die größte der Antillen.

Sie liegt auf der westlichen Seite des Atlantischen Ozeans. Eine Entfernung von 10000 Kilometern trennt uns von diesem Lande Mittelamerikas. Dort hatten dunkelhäutige, schwarzbärtige Bauern die Ananasfrucht geerntet, von der wir am Sonntag essen werden. Sie wurde geschält, geschnitten und in Weißblechbüchsen konserviert. Eine von diesen Büchsen stand nun auf meinem Tisch.

Was mag der kubanische Bauer dafür erhalten haben? Vielleicht hat er sich in Habana eine Kleinbildkamera aus Jena kaufen können! Vielleicht auch steht in dem Büro seiner Genossenschaft ein Telefon, das das Firmenzeichen RFT trägt!

Je länger ich die Ananasbüchse betrachtete, desto wissbegieriger wurde ich. Die Konserve konnte nicht einfach über den Ozean geflogen sein. Viele tausend Menschen hatten mitgeholfen, sie uns auf den Tisch zu bringen.

Schiffe, Häfen, Krane, Eisenbahnen waren dazu nötig, eine komplizierte, ausgeklügelte

Organisation und der Einsatz modernster Technik. Ich wollte soviel wie möglich darüber erfahren. Ob Fred, der junge Schiffingenieur, mir dabei helfen könnte?

Am Sonntag saß er an unserem Kaffeetisch. Sein Gesicht war von Sonne und Seeluft gebräunt, und seine weiße Uniform strahlte Frische und Sauberkeit aus. Er erzählte von seinen Erlebnissen und zeigte uns Münzen aus fernen Ländern.

Ich sah begeistert zu, wie er die Ananastorte mit Wohlbehagen verzehrte. Dann berichtete ich von dem bunten Etikett der Konservenbüchse und von den Gedanken, die mir gekommen waren. Ich sagte, dass ich gern Genaueres über Schiffe und Häfen erfahren hätte.

Fred überlegte nicht lange.

"Das kann ich dir hier am Kaffeetisch nicht erklären", sagte er. "Wenn du Benzingeld spendierst, fahren wir nach Rostock und sehen uns alles an."

Ich war sofort einverstanden. Man kann immer noch etwas hinzulernen, sagte ich mir, und das am besten an Ort und Stelle. Am nächsten Morgen schwangen wir uns auf Freds Motorroller und fuhren los.

## 7.2 Schiffe und Motoren

Wir hätten uns keinen schöneren Tag aussuchen können; die Sonne strahlte, und der Himmel war blau und wolkenlos. Schon gegen Mittag knatterte unser Roller am jahrhundertealten Steintor Rostocks vorbei, der ehemaligen Hansestadt an der Warnow. Wir rollten über glatte moderne Straßen und holperten durch die winkligen Gassen der Altstadt.

Aber Fred hielt nirgends an. Wir ließen die Stadt hinter uns und näherten uns der Ostseeküste. Ich glaubte das Salzwasser riechen zu können und rief Fred ins Ohr: "Wohin fahren wir?"

"Nach Warnemünde!"

Aha, dachte ich, er will also zur Werft!

In der Ferne, im Mittagsdunst nur schwach erkennbar, zeigte sich eine hohe Gitterkonstruktion. Sie glich einer großen Stahlbrücke oder einem riesigen Tor; und das Ganze sah aus, als habe man es ohne Sinn und Zweck mitten auf die Ebene gesetzt. Wir kamen schnell näher. Ich sah, dass es sich nicht nur um eine einzelne, sondern um zwei Brücken dieser Art handelte. Sie waren ungewöhnlich hoch und sehr breit, und jede von ihnen ruhte auf drei stählernen Pfeilern.

Fred stoppte, und wir starteten hinüber.

"Ich habe das schon auf Bildern gesehen", sagte ich. "Das ist doch unsere Warnow-Werft."

"Ja", nickte Fred. "Hier ist mein Kahn vom Stapel gelaufen."

Er sagte "mein Kahn", aber natürlich gehörte das Schiff der volkseigenen Deutschen Seereederei und ist eines der größten unserer Handelsflotte, der 12000-Tonnen-Frachter "Lübbenau".

Ich dachte daran, dass wir eigentlich zum Hafen wollten. Aber was ist ein Hafen ohne Schiffe? Die Schiffe sind zunächst das Wichtigste.

Im Jahre 1953 hatte unsere volkseigene Reederei einen einzigen abgetakelten Dampfer, die "Vorwärts" mit 1200 Tonnen. So fing unsere Handelsflotte an. Die Schiffe, die uns Baumwolle oder Erz oder Kohle brachten, waren ausländische. Wir mussten sie chartern, das heißt mieten, und dafür enorme Devisen zahlen. Also brauchte unsere Republik eigene Schiffe. Darum wurde diese Werft gebaut.

Ich betrachtete das weite Gelände vor mir: große Hallen, Gebäude, Lagerplätze und, alles überragend, die beiden hohen Stahlbrücken.

"Was war denn früher an dieser Stelle?" fragte ich.

"Nicht viel. Ein paar Bretterschuppen, ein kleines Steinhaus. Das war eine Sportbootswerft. 1948 begann der Ausbau. Zunächst bescheiden, aber 1953 stand bereits die große Schiffsbauhalle, die du dort siehst. Sie ist sieben Stockwerke hoch und bedeckt eine Fläche von 20000 Quadratmetern.

Immerhin ist sie die größte heizbare Schiffsbauhalle Europas. Und dort, das ist der Kran. Den sehen wir uns aus der Nähe an!"

Fred startete, und wir fuhren weiter, bis wir die Einzelheiten deutlicher erkennen konnten.

"Feines Ding, was?" fragte mich Fred. Ich nickte. Einen so gewaltigen Kran hatte ich noch nie gesehen. Es war auch kein gewöhnlicher Kran; er besaß zum Beispiel keine Ausleger. Die beiden Stahlbrücken standen sich in einem weiten Abstand gegenüber. Zwischen ihnen lag der halbfertige Rumpf eines Schiffes, eines künftigen Ozeanriesen. Aber der mächtige Rumpf wirkte fast klein und spielzeughaft gegenüber den gewaltigen Stahlbrücken.

Ein Kabelkran, stellte ich fest. Man konnte die vielen Stahlseile gut erkennen, die sich von Brücke zu Brücke spannten. Auf diesen Kabeln rollten kleine Wagen, die Laufkatzen. Jede Laufkatze besaß Motoren und Seilwinden.

Ich sah, wie ein großer Stahlkörper in die Höhe schwebte, von sechs Laufkatzen emporgewunden. Dann hing die Last einen Augenblick still in der Luft. Ich erkannte, dass es ein Teil eines REF war, eine Sektion, wie die Fachleute sagen.

"Da staunst du!" sagte Fred. "Diese einzelnen Sektionen eines Schiffes werden in der Halle hergestellt. Hier draußen auf der Helling unter dem Kabelkran schweißt man die Sektionen zusammen. Dann läuft das Schiff vom Stapel und wird am Ausrüstungskai vertäut.

Dort wird es fertig ausgebaut; es bekommt die Kabinen, die elektrische Einrichtung, die Maschinen und was sonst noch dazugehört."

In diesem Augenblick setzten sich die sechs Laufkatzen mit ihrer gewaltigen Last in Bewegung, rollten eine lange Strecke, stoppten und fuhren wieder ein winziges Stück zurück. Dann senkte sich die Last auf die Helling herab.

"Der Kranführer muss Millimeterarbeit leisten", lobte ich. "Sitzt er oben in der Brücke?" Fred bejahte.

"Da hat er ja eine fabelhafte Aussicht. Aber wie verständigt er sich mit den Schiffsbauern? Über Sprechfunk?"

"Allerdings", erwiderte Fred, "aber man ist auch schon dazu übergegangen, die Laufkatzen vom Boden aus fernzusteuern. Und zwar von einem kleinen Gerät aus, das man wie ein Kofferradio tragen kann."

Wir sahen zu, wie die entlasteten Laufkatzen wieder zurückrollten.

"Diese Kabelkrananlage ist die größte Europas", erläuterte Fred. "Sie hat eine Länge von 320 Metern. Man könnte also mit ihrer Hilfe Schiffe bauen, die an die 300 Meter lang sind. Außerdem ist sie so breit, dass man bequem vier Schiffe nebeneinander auf Kiel legen kann. Und die beiden Stahlbrücken haben 65 Meter Höhe, sind also drei- bis viermal so hoch wie ein vierstöckiges Haus."

Ich versuchte, die vielen Stahlseile zu zählen, die sich von Brücke zu Brücke spannten, aber ich verrechnete mich immer wieder.

"Gib's auf! Du verzählst dich doch!" lachte Fred. "Der Kran arbeitet mit 24 Laufkatzen, aber jede Katze läuft auf mehreren Seilen. Wenn man, wie eben, mehrere Laufkatzen gleichzeitig einsetzt, kann man bis zu 50 Tonnen bewältigen."

50 Tonnen! Das war ein Gewicht von 50 000 Kilopond! Die Stahlseile, die diese Last aufnahmen, wirkten von hier unten wie dünne Bindfäden.

Kaum glaubhaft, dass sie die Belastung aushielten. Aber ich wusste: Die Kabel sind armdick; die reißen nicht!

Ich stand und schaute und wollte mich am liebsten nicht von der Stelle rühren, so sehr fesselte mich diese imponierende Stahlkonstruktion.

"Allein um diesen Kran zu sehen", sagte ich zu Fred, "hätte sich unsere Reise gelohnt."

"Ja", erwiderte er, "er ist zum Wahrzeichen Warnemündes geworden. Wenn wir mit der 'Lübbenau' Rostock anlaufen und die Jungen an Deck Ausschau halten, dann sehen sie ihn als erstes. Und dann weiß jeder: Jetzt sind wir bald bei Muttern."

Fred startete die Maschine. Wir fuhren wieder nach Rostock zurück und hielten vor dem Tor eines modernen, neuerbauten Werkes. Auf einem Schild stand "VEB Dieselmotorenwerk Rostock". Ich sah Fred fragend an.

"Für den Hafen ist es heute schon zu spät", meinte er. "Aber hier werden Dieselmotoren gebaut, kleine, mittlere und ganz große für unsere Frachter und Fangschiffe. Ich würde zu gern einmal in so eine Montagehalle hineinsehen. Schließlich habe ich ja ständig mit diesen Maschinen zu tun."

Man wies uns den Weg zu einer der völlig aus Glas und Stahl erbauten Hallen. Drinnen roch es nach Öl. Das Licht flutete ungehindert durch die hohen Glaswände. Auf den Montageständen inmitten der Halle ragten mehrere wuchtige Motorengehäuse empor. Leitern und Tritte waren darangestellt, und die Monteure standen auf den Leitern, hantierten mit Schraubenschlüsseln und Messgeräten und ließen die Handbohrmaschinen summen. Wir gingen an eine der Maschinen heran, und Fred verwickelte einen Monteur sofort in ein Fachgespräch.

Plötzlich rief jemand "Vorsicht!", und wir traten rasch zur Seite. Von der Höhe senkte sich ein schwerer, schwarz-gelb gestreifter Rollenblock. An seinem dicken, stählernen Lasthaken hing eine meterlange, blitzende Kurbelwelle.

Der Haken setzte die schwere Welle sanft auf zwei Holzböcken ab, wurde von der Seilschlinge befreit, und während sich gleich darauf der Rollenblock hob, schwebte er zum anderen Ende der Halle.

Ich schaute ihm nach und entdeckte erst jetzt den Laufkran, von dem der Haken herabhing.

Der Kran glitt hoch über unseren Köpfen dahin, eine stabile Stahlbrücke, die die ganze Breite der Halle überspannte.

Die Brücke lag mit ihren beiden Seitenwagen auf den Schienen, die in fünf Meter Höhe an die Wandpfeiler montiert waren. Die Schienen verliefen von einem Ende der Halle zum anderen. Auf ihnen konnte die Kranbrücke, von Elektromotoren getrieben, hin- und herrollen und vermochte so, die Halle in ihrer ganzen Länge zu befahren.

Drei Meter darüber gewahrte ich jetzt noch eine weitere Kranbrücke, die sich dicht unter dem Hallendach vorwärts bewegte und einen Kranhaken herabließ.

Während Fred sich mit dem Monteur über die geöffneten Zylinder beugte, unaufhörlich redete, mit Schraubenschlüsseln hantierte und dabei war, sich die weiße Uniform mit Öl zu beflecken, folgte ich dem fortschwebenden Lasthaken. Mich interessierte, wo die Lastseile da oben endeten. Bald hatte ich es heraus.

Die Kranbrücke war im Grunde nichts anderes als ein stabiles Stahlgleis, auf dem eine Laufkatze fuhr. Diese besaß einen Elektromotor für das Fahren auf der Brücke und noch einen weiteren für die Hubwinde, die die Last heben musste.

Das Ganze wurde von einem Führerstand aus gesteuert, der wie ein Schwalbennest seitlich unter der Kranbrücke hing.

Dort saß eine junge Frau, eine Kranführerin. Sie konnte aus ihrer Höhe die ganze Halle übersehen. Wenn sie mit der Brücke durch die Halle fuhr, behielt sie Laufkatze und Lasthaken immer gut vor Augen.

Ich erkannte sofort die Vorteile dieses Laufkranes: Die Last konnte an jeder beliebigen Stelle der Halle aufgenommen und ebenso an jedem Punkt abgesetzt werden. Das Arbeitsfeld des Kranes war ja ein Rechteck und entsprach der Bodenfläche der Halle. Man konnte mit diesem Laufkran die schweren Gehäuseteile der Motoren, die Kolben und die Wellen an die Arbeitsplätze befördern, konnte diese Teile aber auch zur Montage auf den hohen Motor heben.

Fred kam mit strahlendem Gesicht und ölverschmiertem Ärmel von der Maschine geklettert. Er zeigte auf den Monteur, der breit lächelnd auf uns herabsah.

"Was sagst du dazu?" rief Fred begeistert. "Er hat an meinen Maschinen mitgebaut. Ist das ein Zufall!"

Das fand ich auch. Und da ohnehin gleich Feierabend war, warteten wir auf Freds neuen Freund und steuerten dann einträchtig "Zur Krim", wo Fred diese unverhoffte Begegnung mit sowjetischem Wodka besiegelte.

## 7.3 Tor zur Welt

Am nächsten Morgen waren wir schon früh auf den Beinen. Wir saßen beim Frühstück, als Fred mich fragte, ob ich denn überhaupt den neuen Überseehafen schon einmal gesehen hätte. Ich schüttelte den Kopf.

"Nein, nur mal auf Bildern."

"Dann wirst du staunen!" prahlte Fred und zog ein verheißungsvolles Gesicht. "Wenn du erst siehst, was da an Frachten ankommt und weggeht, dann vergisst du deine Büchse Ananas: Kohle, Bananen, Öl, Erze, Maschinen, Autos, Baumwolle, Holz, Tabak, Reis; Packen und Kisten, Ballen, Säcke, Kartons — und das alles tonnenweise. Du kannst dir kein Bild machen!"

Ich stellte mich unwissend.

"Meine Güte", scherzte ich, "und das so auf einem Haufen. Das muss ja ein tolles Durcheinander geben!"

Fred lachte und verschluckte sich am Kaffee.

"Ich möchte wissen, was du dir unter einem Hafen vorstellst. Die Güter, die per Schiff ankommen, werden bereits sortiert, noch ehe sie überhaupt gelöscht worden sind. Davon habt ihr Landratten eben keine Ahnung.

Man sortiert nämlich gewissermaßen die Schiffe, wenn sie den Hafen anlaufen. Die Tanker zum Beispiel kommen gar nicht erst in die Hafenbecken rein. Sie fahren zum Ölhafen, zum Erdölsteg. Ihre Fracht wird über Ölleitungen direkt in die Erdöltanks gepumpt.

Wenn wir mit unserem Kahn Rostock anlaufen und haben meinetwegen Holz geladen, dann dirigiert man uns zum Holzhafen. Haben wir aber Stückgut an Bord, gehts an die Stückgutpiers, haben wir Massengut, an die Massengutpiers."

"Aha", flunkerte ich, "so ist das. Und von Massengut spricht ihr, wenn ihr eine Masse Kisten von der gleichen Sorte geladen habt, oder...?"

Fred grinste.

"Das ist natürlich Unsinn. Ich glaube fast, du stellst dich absichtlich dumm, weil ich dich eine Landratte genannt habe. Aber im Ernst, unter Massengut versteht man vor allem Schüttgut.

Das sind staubförmige oder körnige oder klumpige Frachtgüter, die in den Laderaum des Schiffes geschüttet worden sind, also Kohle, Erze, Dünger, Steine, Getreide und so was. In Rostock werden vor allem Erze, Kohle und Düngemittel umgeschlagen, und zwar bis zu 32 verschiedene Sorten. Die müssen natürlich säuberlich voneinander getrennt gelagert werden."

"Und dazu braucht man wahrscheinlich besonders große Lagerflächen", sagte ich. "Deshalb also die Massengutpiers."

"Erstens das", meinte Fred, "aber für das Massengut werden auch bestimmte Spezialkrane gebraucht. Das Schüttgut liegt doch unverpackt im Laderaum des Frachters. Deshalb müssen die Krane in das Schiff hineinfassen können. Sie sind mit großen Greifern ausgerüstet, fassen mit einem Male mehrere Tonnen Erz oder Kohle und heben sie heraus."

Das alles leuchtete mir sofort ein.

"Dann sind Stückgüter solche Frachten", überlegte ich weiter, "die man nicht mit einem Greifer, sondern von einem Kran mit Haken löscht?"

Fred nickte. "Im großen und ganzen trifft das zu. Stückgüter können die verschiedensten Waren sein: Maschinen oder Maschinenteile, Autos, Fabrikarüstungen, Fellbündel, Kisten mit Konserven oder optischen Geräten - eben, was es alles so gibt.

Man transportiert Güter auch in Containern, das sind genormte Kastenbehälter. Oder Baumwolle in Ballen und Zucker in Säcken. Solche Frachten sind ebenfalls Stückgut."

"Dafür hat man dann die Stückgutpieri!" werf ich ein.

"Ja, und das aus mehreren Gründen. Einmal, weil man für viele Stückgüter Lagerhallen benötigt. Stückgüter sind ja meist witterungsempfindlich, man kann sie nicht im Regen, im Schnee oder in der prallen Sonne liegenlassen.

Zum anderen sind Stückgüter normalerweise nur ein Megapond bis drei Megapond schwer. Man kommt also mit leichteren Kranen aus. Dafür sind diese Krane beweglicher und nehmen an dem engen Kai weniger Platz weg. Das hat den Vorteil, dass man am Stückgutpier viel mehr Krane aufstellen kann als am Massengutpier."

Es gibt also die verschiedensten Hafenkranen, und sie alle zusammen haben eine ziemlich wichtige Aufgabe zu erfüllen, überlegte ich. Ohne Krane wäre ein Hafen völlig undenkbar. Man könnte zur Not auf manches andere verzichten, auf den Spezienschuppen zum Beispiel oder sogar auf den Hafbahnhof, wenn man dafür genügend Transportautos hat. Aber die Krane dürfen niemals fehlen. Sie müssen sogar besonders leistungsfähig sein. Alte Modelle könnte man überhaupt nicht gebrauchen. Da würde der Hafen gewissermaßen Pleite machen.

Denn: Woran erkennt man einen modernen Hafen? An den eleganten Gebäuden und stromlinienförmigen Lagerschuppen? An Fahrstühlen, Klimaanlage und Telefon?

Das gehört ohne weiteres dazu. Aber das wichtigste ist, dass man die Frachten schnell löschen kann, dass der Umschlag flüssig vor sich geht, dass die Schiffe so rasch wie möglich wieder in See stechen können.

Jede Stunde Liegezeit im Hafen kostet bares Geld, denn ein Schiff, das still liegt, bringt keinen wirtschaftlichen Nutzen. Die Krane müssen so gebaut sein, dass ein Frachter in kürzester Frist entladen und wieder beladen werden kann.

"Sind eigentlich unsere Krane ihrer Aufgabe gewachsen?" fragte ich vorsichtig.

"Rostock gehört zu den schnellsten Häfen Europas", erklärte Fred stolz.

"Wir haben das modernste, was es an Kranen überhaupt gibt."

"Das müssen ja wahre Wunderwerke sein!"

"Sind sie auch. Aber jetzt trink deinen Kaffee aus!" drängte Fred. "Wir müssen uns sputen."

Kurze Zeit darauf raste unser Motorroller über die glatte Fahrbahn der neuen Autostraße, die geradewegs zum Hafen von Rostock führt. Wir überholten schwere Lastwagen und Sattelschlepper, die mit ihren Anhängern zum Hafen brausten. Auch auf der Gegenbahn rollte eine ununterbrochene Kette von Fahrzeugen.

Unsere Fahrt war kurz, denn der Hafen liegt nur knappe zehn Kilometer nördlich von Rostock. Wir stoppten vor dem großzügig angelegten modernen Hafentor, und Fred führte mich in das Hochhaus der Hafenverwaltung. Ein Fahrstuhl fuhr uns in die Höhe. "Von oben können wir alles wunderbar übersehen", sagte Fred.

Er hatte nicht zuviel versprochen. Unter uns breitete sich der Stückgutpier aus, eine künstlich angelegte, mächtige Landzunge, bebaut mit langgestreckten Hallen und hohen Lagerhäusern. Dazwischen glitzerten Gleise über Gleise und warteten lange Güterzüge. Eine Lokomotive piff und schob eine Wagenschlange aus dem Hafengelände hinaus. Aus der Ferne kam das lang anhaltende, tiefe Brummen einer Schiffssirene.

Auf der Kaimauer, unmittelbar am Wasser, reihten sich die Krane und streckten ihre Ausleger schräg in den Himmel.

An den Kais hatten Frachter festgemacht. Ihre gewaltigen Rümpfe und hohen Aufbauten wurden von dem Wald der Kranmaste verdeckt. Drüben im Nordwesten grüßte mich, jetzt schon wie eine gute Bekannte, die Kabelkrananlage der Warnowwerft.

"Kannst du dir denken, wie groß dieser Pier ist?" fragte Fred. "Er hat eine Länge von 1,2 Kilometern und ist 350 Meter breit. Er wird von den beiden Hafenbecken eingeschlossen. Links siehst du einen kleinen Pier mit drei Liegeplätzen. Er ist für Spezialgut bestimmt, denn er hat Reifeschuppen für Bananen und Zitrusfrüchte. Und jetzt sieh nach rechts! Auf der anderen Seite des großen Hafenbeckens erkennst du einige besonders hohe und schwere Krane. Dort liegt der Massengutpier mit den Lagerflächen für Erz, Kohle und Apatit."

Ich schaute gebannt auf das Gewimmel von Menschen unter mir, auf das scheinbare Gewirr von Kranen, Masten, Gleisen, Gebäuden und Güterzügen.

Wie hatte es noch vor wenigen Jahren an dieser Stelle ausgesehen!

Hier war damals eine flache, einsame Küstenlandschaft mit den wenigen Häuschen des kleinen Petersdorf, sonst nichts.

War ein Wunder geschehen?

Ich versuchte, mir die gewaltigen Materialmengen vorzustellen, die man hier hatte verbauen müssen, die Betonmassen, die viele Hunderte Kilometer langen Schienenstränge, das Glas, das Holz, die elektrischen Leitungen, die Maschinen, die Krane - nein, es war unvorstellbar. Mir schwindelte, wenn ich an die Geldsummen dachte, die dieser Hafenaufbau gekostet hatte. Ich fragte Fred danach.

"Das Ganze war nicht gerade billig, da hast du recht", erwiderte Fred, "aber es lohnt sich. Früher konnten die großen Hochseefrachter unsere Häfen nicht anlaufen. Sie mussten unsere Frachten in Hamburg oder Szczecin löschen. Das war eine teure Angelegenheit.

Kostenpunkt? Nehmen wir an, dass 2000 Tonnen ägyptische Baumwolle in einem fremden Hafen gelöscht werden, so müssen wir dafür 70000 Dollar auf den Tisch legen." Das war mir neu.

"Was sagst du", rief ich entsetzt, "70000 Dollar Umschlagkosten?"

"Da staunst du, was? Aber es ist nun mal so. Der Umschlag, das Löschen und Laden,

ist immer das Teuerste, ist teurer als die Frachtkosten. Früher, als wir diesen Hafen nicht hatten, mussten wir jahraus, jahrein Millionenbeträge in wertvollen Devisen an fremde Hafenverwaltungen zahlen.

Jetzt sparen wir dieses Geld; und damit bezahlt der Hafen sich gewissermaßen selbst. Wir können ihn sogar weiter ausbauen. Das ist nötig, denn unser Überseehandel wird ständig umfangreicher, und auch die Zahl unserer Handelsschiffe nimmt von Jahr zu Jahr zu.

Ist es nicht großartig, dass wir uns diesen Hafen geschaffen haben?"

Er klopfte mir auf die Schulter und schob mich zum Fahrstuhl. Unten angelangt, führte mich Fred, der sich im Hafengelände gut auskannte, an die Verladekais.

"Hier ist wieder mal Hochbetrieb", bemerkte Fred.

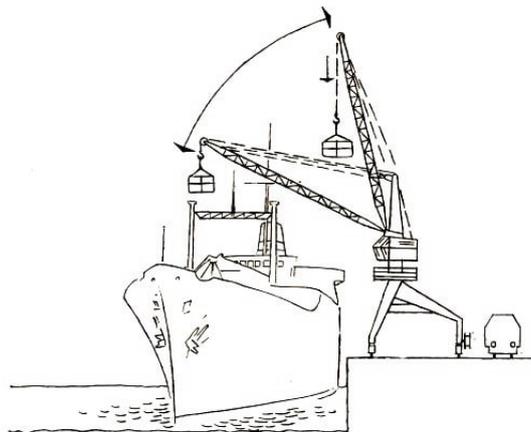
An den Liegeplätzen reihte sich Schiff an Schiff, davor die schnurgerade Allee der Krane. Vier bis sechs davon arbeiteten jeweils an einem Frachter, jenach Anzahl der Luken, die das Schiff aufwies.

Jetzt hatte ich Gelegenheit, die Krane aus der Nähe zu bestaunen. Was mir sofort auffiel, war ihre Formschönheit und die elegante, schnittige Glaskanzel. Jede Kanzel leuchtete in einer anderen Farbe, die eine rot, die andere blau, grün oder gelb. Das verlieh diesen unermüdlichen Riesen ein farbenfrohes Äußeres.

"Die Krane kommen aus dem VEB Kranbau Eberswalde", berichtete Fred, "sie heben 3,2 Tonnen, und das mit einer Hubgeschwindigkeit von einem Meter in der Sekunde. Die Konstrukteure haben mit den Künstlern der Berliner Hochschule für bildende Kunst zusammengearbeitet, damit die Krane eine geschmackvolle Form erhalten."

Das war ihnen gelungen, fand ich. Nur der Ausleger bestand aus einer Gitterkonstruktion. Sonst wies der Kran nur glattflächige Bauteile auf.

Diese Bauweise hat außerdem den Vorteil, dass sie die Fertigung der Krane verbilligt. Und bei einem Neuanstrich des Kranes spart man 50 Prozent der Kosten ein, die man für das Streichen einer Gitterkonstruktion ausgeben müsste.



Die Krane im Rostocker Hafen arbeiten mit einem wippbaren Ausleger

Mich interessierte vor allem die Arbeitsweise des langen Auslegers. Er konnte verschiedene Stellungen einnehmen, konnte steil aufgerichtet und fast waagrecht herabgelassen werden.

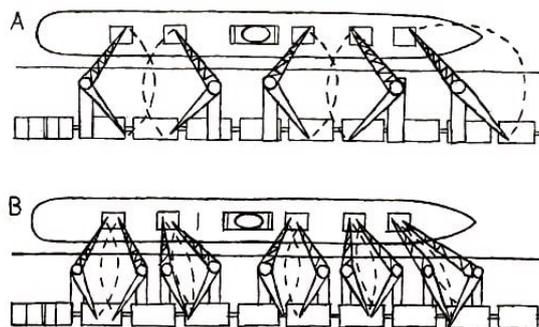
Ich beobachtete, wie der Lasthaken eines Kranes im Rumpf eines Frachters verschwand und nach kurzer Zeit, mit mehreren Ballen belastet, wieder zum Vorschein kam. Ehe der Kran dann zu den wartenden Güterzügen herumschwenkte, richtete er seinen Ausleger auf. Diese Auf- und Abbewegung des Auslegers nennt man Wippen. Derartige Wippausleger sind gerade für Kaikrane äußerst vorteilhaft.

Warum das so ist, will nicht ohne weiteres einleuchten. Der Kran muss beim Wippen nicht nur die Last heben; er hat auch den schweren Ausleger aufzuziehen. Wozu diese Kraftvergeudung?

Stellen wir uns einen starren Ausleger vor! Er und die Last beschreiben stets den gleichen Kreisbogen. Wo könnte er seine Last absetzen?

Doch nur immer längs dieses Kreisbogens. Steht der Güterwagen, den der Kran zu beladen hat, nur einen oder zwei Meter außerhalb dieser Linie, kann er vom Kran nicht mehr erreicht werden. In solchem Fall müsste deswegen der ganze Kran fahren oder der Zug rangieren.

Außerdem könnte man Krane mit starren Auslegern niemals so dicht nebeneinander stellen. Die Ausleger würden sich beim Schwenken stören, vielleicht sogar zusammenstoßen. Infolgedessen könnte man nicht so viele Krane gleichzeitig an einem Schiff einsetzen.



Ein Schiff wird am Hafenkai entladen

A Krane mit starren Auslegern. Es können nur wenige Krane gleichzeitig an einem Schiff eingesetzt werden.

B Krane mit Wipp-Auslegern, Die Ausleger werden vor dem Schwenken steil aufgerichtet und sind beim Schwenken nicht im Wege

Fred zog mich weiter. Wir schritten neben der endlos erscheinenden Lagerhalle weiter und gelangten dann fast bis ans Ende des Piers. Hier breitete sich ein weiterer Platz aus, der mit vielen Gütern vollgestellt war, mit riesigen Kisten, Rohren, Autos.

"Die Freiladefläche!" erklärte Fred. "Hier werden große Stückgüter gelöscht, die witterungsbeständig oder gut verpackt sind, zum Beispiel Metallbarren, Walzwerkerzeugnisse und sonstiges Schwergut."

Die ganze Breite der Lagerfläche wurde von zwei mächtigen stählernen Brücken überspannt. Ich beobachtete, dass auf der einen Brücke ein schwerer Kran entlangrollte. An seinem Haken hing ein Bündel Stahlrohre.

Plötzlich setzte sich die Brücke in ihrer ganzen Breite in Bewegung und rollte auf uns zu, hielt wieder an, und der Kran setzte das Rohrbündel wie ein Spielzeug auf dem Lagerplatz ab, wo bereits eine Menge gleichartiger Rohre lagerten.

"Das sind Kranbrücken, nicht wahr?" vergewisserte ich mich.

"Ja. Die Brücke ist 60 Meter lang, und der Kran kann 16 Megapond-Lasten heben. Er selbst befährt auf der Brücke die Breite des Platzes; die Brücke wiederum kann die Länge des Platzes befahren. Dadurch vermag der Kran jeden Punkt der Lagerfläche zu erreichen."

Unterdessen war es längst Mittag geworden. Wir fuhren zurück und ließen uns in der Gaststätte des Passagierhafens ein vorzügliches Mittagessen servieren.

Ganz unvermittelt fragte mich Fred, ob ich schon je im Leben ein Känguruh gesehen hätte. Ich sah ihn verblüfft an und nickte.

"Natürlich, im Berliner Tierpark."

Damals hatte ich die enormen Weitsprünge bewundert, die diese Tiere mit ihren langen, kräftigen Hinterbeinen vollführen konnten. Ich erinnerte mich noch daran, dass dabei ein Muttertier in seinem Beutel ein Kängurujunges mitgeführt hatte.

"Wie kommst du jetzt auf Känguruhs?" wollte ich wissen. Fred machte ein gleichgültiges Gesicht.

"Weil es hier im Hafen, und zwar drüben am Massengutpier, Krane gibt, die man so getauft hat. Känguruhkrane!"

Ich musste lachen. "Du meinst doch nicht etwa, dass diese Krane hüpfen können!"

"Das gerade nicht", meinte Fred, aber er verriet nichts weiter. Ich musste warten, bis er in aller Gemütlichkeit seinen Pudding aufgelöffelt hatte. Ich war neugierig, diese Känguruhkrane zu sehen.

Wir kamen am Massengutpier gerade zurecht, um dabeizusein, als ein 10000-Tonnen-Kohlenfrachter gelöscht werden sollte. Das Schiff hatte am Kai festgemacht.

Ein Riesenkran, der die Aufbauten des Schiffes um das Doppelte überragte, senkte einen mächtigen Greifer in den Laderaum des Schiffes. Man hörte es metallisch knirschen; die Greiferbacken schlossen sich. An Stahlseilen wurde die Last aus dem Laderaum hochgezogen.

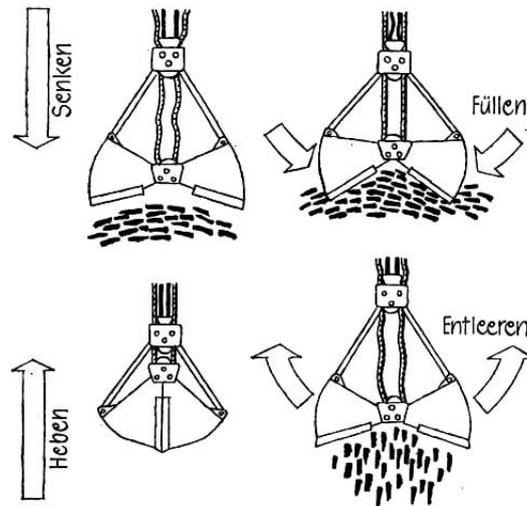
"In so einem Greifer könnten wir zwei bequem übernachten und sogar unsere Betten aufstellen", sagte Fred. "Er fasst mit einem Male 12 Tonnen."

Ich rechnete schnell diese Menge in Zentner um; 12 Tonnen sind 240 Zentner. Wir verbrauchen für unseren Haushalt in einem Jahr etwa 20 Zentner Kohlen. Das heißt nichts anderes, als dass dieser Kran mit einem einzigen Griff unseren Kohlenvorrat für 12 Jahre aus dem Schiffsleib herausholt.

Ich musste wohl einen Augenblick nicht aufgepasst haben, denn ich sah, dass der leere Greifer bereits von neuem in den Schiffsrumpf hinabfuhr.

"Wo ist denn so schnell die Kohle geblieben", fragte ich verwundert. "Ich habe nicht gesehen, dass der Kran geschwenkt hat, um die Kohle auszuschütten."

"Das braucht er auch nicht. Pass jetzt genau auf!"



Arbeitsweise eines Krangreifers für Schüttgut

Der Kran zog den schweren Greifer in die Höhe. Gleichzeitig richtete sich sein riesiger Ausleger steil auf. Auf diese Weise gelangte der Greifer dicht über die Kranbrücke. Er öffnete sich, und die Kohle fiel irgendwo hinein und verschwand spurlos.

"Wo ist sie geblieben?" fragte ich.

"Sie fällt dort in einen Trichter und dann auf ein Förderband. Das Förderband transportiert die Kohle fortlaufend über ein Bandsystem zum Lagerplatz. Deshalb also Känguruhkran!"

Der Trichter, der sich unmittelbar vor dem eigentlichen Kran befindet, wird mit dem Beutel eines Känguruhs verglichen. Mit diesem Umschlagsystem erzielt man ein hohes Tempo. Der Kran braucht sich nicht zu drehen, er vollführt lediglich eine Wippbewegung.

Deshalb kann man mehrere Krane dieser Art nebeneinander aufstellen. Nehmen wir vier Krane an, die das Schüttgut gleichzeitig aus vier Luken des Schiffes fördern, so werden in einer Stunde 1600 Tonnen umgeschlagen. Ein 10000-Tonnen-Frachter kann also in weniger als zehn Stunden abgefertigt sein.

"Der Kran kommt ebenfalls aus Eberswalde", erklärte Fred. "Es ist einfach phantastisch, was dort die Kranbauer geschaffen haben. Diese Anlage hier ist die leistungsfähigste Europas."

Ich schaute noch einige Zeit auf das verwirrende Zusammenspiel der riesigen stählernen Arme, auf die surrenden Seile und Rollen. Ich wusste, dass nur ein einzelner Mensch dort in der Krankanzel saß und dieses Ungetüm beherrschte; ein Mensch, der diesen Titanenkräften, die in den Motoren schlummerten, seine Befehle erteilte.

Es bedurfte dazu nur eines leichten Hebeldrucks; schon fügten sich die Kräfte dem menschlichen Willen und ließen sich gehorsam in die Bahnen zwingen, die der Mensch ihnen vorgeschrieben hatte.

Am Abend dieses erlebnisreichen Tages standen wir auf der Ostmole, die bei Warnemünde 530 Meter weit in die Ostsee hineinragt und die Hafeneinfahrt schützt. Ein

frischer Wind zerrte an unseren Kleidern und zauste uns in den Haaren. Von Nordwesten rauschten und rollten breite Wellenzüge heran und warfen sich klatschend gegen die Betonmauer, an der sie aufschäumend zerstoben. Das Meer war in Bewegung, war ruhelos wie seit Tausenden von Jahren.

Wir schwiegen. Ich dachte an den Weg, den die Menschen zurücklegen mussten, seitdem sie einst in der Wüste Pyramiden errichtet hatten. Sind 4000 Jahre eine lange Zeit?

Im Zeitenstrom bedeuten sie nichts, nicht mehr als der winzige Tropfen, den mir die See ins Gesicht sprüht. Ich begriff, dass diese 4000 Jahre nur eine Anfangsstufe der Menschheit darstellen, eine Zeitspanne, in der sie gelernt haben, die Natur zu beherrschen und sich selbst zu befreien.

Frei von Dämonenfurcht und von Ausbeutung werden sie in den nächsten 4000 Jahren eine ganz neue Welt errichten. Sie greifen schon jetzt nach den Sternen.

Fred stieß mich an. Er wies auf ein schlankes Frachtschiff, das die Hafenausfahrt passierte. Sein schnittiger Bug teilte die aufschäumende See.

Von seinem Heck wehte die Flagge unserer Republik.

An der Reling lehnten die jungen Matrosen und winkten uns zu. Wir sahen dem Schiff nach, wie es zielbewusst und stolz das offene Meer gewann.