

# Block 2

## Inhalt

1.	Einführung.....	1	5.	Die geometrischen Grundlagen des konstruktiven Zeichnens.....	119
2.	Zur Kulturgeschichte technischer Darstellungen.....	3	5.1	Anschaulichkeit und Maßgerechtigkeit.....	119
2.1	Zeichenkunst in prähistorischer Zeit und im Altertum.....	3	5.2	Parallelprojektionen.....	121
2.2	Zeichenkunst vom Mittelalter bis zur Neuzeit.....	7	5.3	Zentralprojektionen.....	123
2.2.1	Zeichenkunst und konstruktives Zeichnen.....	7	5.4	Axonometrische Projektionen.....	125
2.2.2	Konstruktives Zeichnen.....	7	6.	Technische Darstellungen im Entstehungsprozess technischer Objekte.....	127
3.	Die Zeichnung in der Technik.....	15	6.1	Entwicklung technischer Objekte als Problemlösungsprozess.....	127
3.1	Bemerkung.....	15	6.2	Darstellungen im Konstruktionsprozesses .....	129
3.2	Großes „Gewerf“ (um 1405).....	21	6.3	Arten von konstruktiven Zeichnungen .....	131
3.3	Hebekunst mit Göpelantrieb (um 1430).....	23	7.	Die technische Skizze .....	133
3.4	Bohrmühle (um 1480).....	25	7.1	Technische Skizzen im konstruktiven Prozess.....	133
3.5	Fahrrad mit Tretkurbelantrieb (um 1480).....	27	7.2	Schematische Skizzen.....	137
3.6	Schöpfrad (um 1505).....	29	7.3	Anschauliche Skizzen.....	141
3.7	Drehbank zum Dreheln elliptischer Teile (um 1565).....	31	7.4	Parallelprojektive Skizzen.....	145
3.8	Maschine zum Ziehen sehr schwerer Lasten (um 1620).....	33	8.	Zeichnungen beim Entwerfen.....	147
3.9	Häcksel-Schneidemaschine (um 1695).....	35	8.1	Technische Entwurfszeichnungen.....	147
3.10	Dampfmaschine zur Wasserhebung (um 1706).....	37	8.2	Grobmaßstäbliche Entwurfszeichnungen.....	179
3.11	Feuermaschine von Schemnitz (1724).....	39	8.3	Maßstäbliche Gesamtentwurfszeichnungen und Entwurfszeichnungen für Einzelteile.....	153
3.12	Dampfwagen von Cugnot (um 1769).....	41	9.	Ausgearbeitete Gesamtzeichnungen.....	157
3.13	Handpresse für den Buchdruck (1772).....	43	9.1	Zeichnungsarten.....	157
3.14	Feuermaschine von Resener aus Breslau (1787).....	45	9.2	Vollständige und vereinfachte Gesamtzeichnungen.....	161
3.15	Zweite deutsche Lokomotive (1817).....	47	9.3	Baugruppenzeichnungen.....	191
3.16	Druckluftlokomotive (1822).....	49	9.4	Begleitende Informationen.....	199
3.17	Konstruktionsbeispiele für Zahnräder und Wellenkupplungen“ (1834).....	53	9.5	Besondere Ausgestaltung technischer Zeichnungen.....	201
3.18	Wasserdruckwerk (1834).....	57	10.	Zeichnungen der Einzelteile.....	203
3.19	Eisenschere für ein Hüttenwerk (1840).....	59	10.1	Zeichnungsarten.....	203
3.20	Einrichtung zur Regulierung des Kessel-Wasserstandes (1841).....	61	10.2	Integrierte Einzelteilzeichnung.....	204
3.21	Dampflokomotive (1846).....	63	10.3	Nebengeordnete Einzelteilzeichnung.....	207
3.22	Lokomobile von 10 Pferdekraft (1864).....	69	10.4	Teilgruppen-Zeichnung.....	209
3.23	Dampfzugmaschine von L. Schwartzkopff, Berlin (1864).....	73	10.5	Einzelteilzeichnung.....	213
3.24	Presspumpe (1872).....	77	10.6	Einzelteilzeichnungen nach Technologien und für Sonderfälle.....	215
3.25	„Rotierende“ Wasserhaltungsmaschinen (1881).....	79	11.	Zeichnerische Verfahren im Maschinenbaus.....	217
3.26	Hydraulischer Mechanismus einer Drehbrücke (1882).....	81	11.1	Bemerkung.....	217
3.27	Dampflokomotive, System Abt (1889).....	85	11.2	Beispiele zu den zeichnerischen Verfahren.....	218
3.28	Übungsaufgaben zum technischen Zeichnen (1897).....	87	12.	Nomographie.....	223
3.29	Wasserrohrkessel (1906).....	89	12.1	Bemerkung.....	223
3.30	Angebotszeichnung einer Lokomotive (1908).....	93	12.2	Beispiele für Nomogramme.....	224
3.31	Dampfkran (1921).....	95	13.	Modellanfertigung.....	229
3.32	Eimerkettenbagger (um 1926).....	97			
4.	Künstler, Kunstmeister, „Mechanici“ und Ingenieure.....	99			
4.1	Konstruktive Zeichner.....	99			
4.2	Lernen und Ausbildung.....	102			
4.3	Technische Lehrbücher und Periodika.....	110			
4.4	Formgebung von technischen Objekten und Stil.....	118			
4.5	Technisches Denken.....	118			

14.	Zeichnungen für Sonderzwecke.....	231
14.1	Zeichnungsarten.....	231
14.2	Proportionalzeichnung.....	232
14.3	Offertenzeichnung.....	235
14.4	Ersatzteilzeichnung.....	239
14.5	Zeichnung für Betriebsanleitung.....	243
14.6	Lineamente.....	246
14.7	Perspektivische Zeichnungen.....	246
14.8	Geometrische Rekonstruktionen.....	246
14.9	Sonstige Zeichnungen.....	247
14.10	Präzisionszeichnungen.....	248
15.	Die Arbeitsmittel beim konstruktiven Zeichnen.....	249
15.1	Bemerkung.....	249
15.2	Zeichenwerkzeuge und Hilfsmittel.....	251
15.2.1	Zirkel.....	251
15.2.2	Lineale und Zeichendreiecke.....	257
15.2.3	Transporteure oder Winkelmesser.....	262
15.2.4	Reiß- oder Ziehfeder.....	263
15.2.5	Pikiernadel.....	265
15.2.6	Punktierädchen und Punktierziehfeder.....	265
15.2.7	Zeichenstifte.....	267
15.2.8	Tuschezeichner und Tuschefüllfeder.....	268
15.2.9	Zeichenbestecke.....	269
15.3	Zeichenwerkzeuge für besondere Anwendungen.....	271
15.4	Zeichengrund und Zeichenpapiere.....	275
15.5	Zeichentinten, Zeichentuschen und Zeichenfarben.....	277
16.	Texte und Beschriftungen.....	279
16.1	Beschreibungsmöglichkeiten bei technischen Objekten.....	279
16.2	Textliche Beschreibung technischer Objekte.....	280
16.3	Ausschließlich zeichnerische Beschreibung technischer Objekte.....	282
16.4	Kombinierte Darstellungen aus Zeichnungen mit ergänzenden Angaben.....	284
16.5	Schriften für konstruktive Zeichnungen.....	288
17.	Zeichentische und Zeichenmaschinen.....	294
17.1	Bemerkung.....	294
17.2	Zeichenbrett und Zeichentische.....	296
17.3	Zeichenmaschinen.....	298
18.	Vervielfältigung konstruktiver Zeichnungen.....	300
18.1	Historische Entwicklung.....	300
18.2	Mechanische Verfahren der Vervielfältigung.....	302
18.3	Optische Verfahren der Vervielfältigung.....	303
18.4	Direkte Verfahren der Vervielfältigung mittels Licht.....	304
18.5	Fotografische Verfahren der Vervielfältigung.....	305
18.6	Umdruckverfahren der Vervielfältigung.....	305

19.	Konstruktive Zeichnungen im Betrieb und in den Werkstätten.....	305
19.1	Bemerkung.....	305
19.2	Handwerk und Manufaktur.....	305
19.3	Industrie.....	305
20.	Die Kunst des Lesens konstruktiver Zeichnungen.....	305
20.1	Bemerkung.....	305
20.2	Differenziertes Lesen konstruktiver Zeichnungen.....	305
21.	Das konstruktive Zeichnen heute.....	306
22.	Quellen und Literaturverzeichnis.....	308
22.1	Allgemeine Hinweise.....	308
22.2	Allgemeine Literaturquellen.....	308
22.3	Spezielle Literaturquellen.....	309
23.	Anhang.....	

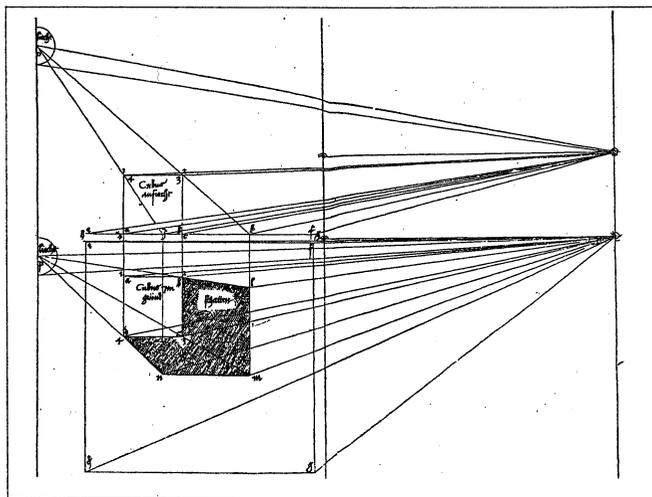
### 3. DIE ZEICHNUNG IN DER TECHNIK

#### 3.1 Bemerkung

Technik, aus dem Griechischen „tèchne“ für Kunst, bezeichnet allgemein die von Menschen erstellten, künstlichen Objekte, die eine nutzbare Funktion erfüllen. Der in der Technik bewandert war hieß im Griechischen „technítes“. Der Begriff „Technik“ umfasst heute auch das Wissen und die Erfahrungen, die zur Nutzung der Objekte erforderlich sind. Für die Betrachtung des „konstruktiven Zeichnens“ in der Technik reicht es, den Zeitraum ab der Frührenaissance, also ab etwa 1400, zu betrachten. In den Epochen davor machte man keinen Unterschied zwischen der „künstlerischen“ Zeichnungen und denen der „Technik“. Die Darstellungen waren darüber hinaus stark von individuellen Unterschieden geprägt. Mit Beginn der Frührenaissance wurden die konstruktiven Zeichnungen immer klarer und eindeutiger. Der Betrachtungsrahmen endet etwa 1930. Aus dem konstruktiven Zeichnen war mit der Entwicklung allgemeiner Zeichenregeln und dem weitgehenden Abschluss der Zeichnungsnormung die „technische Zeichnung“ geworden. Die danach folgenden Weiterentwicklungen betrafen nur noch Details.

In den Linearzeichnungen der Renaissance (siehe Abschnitt 2.2), insbesondere in den technischen Skizzen, sind die Beziehungen zur klassischen Zeichenkunst noch deutlich sichtbar. Durch den Einsatz ähnlicher Zeichentechniken und vergleichbarer Gestaltungsmittel, wie Schraffuren, Lavierungen, Punktraster, Teilschnitte, wechselnde Blickrichtungen und verschiedene Ansichten, waren die Unterschiede gering. Im Laufe der Zeit trat aber die Darstellung der Funktion und der genauen Geometrie der Objekte in den Vordergrund. Das Problem, das bei anschaulichen Darstellungen zwar ein für jedermann unmittelbar verständlicher Bildeindruck zu erreichen war, aber keine Maßhaltigkeit, musste gelöst werden. Einige Lösungsansätze waren aus dem Altertum schon bekannt. In den Zeichnungen wurden die perspektivische Darstellung und die Projektion mit unterschiedlichen Richtungen durch eine schiefe Parallelprojektion mit einer Blickrichtung (siehe Kapitel 5) ersetzt. Das war ein erster Schritt zu einer maßgerechten Abbildung. 1525 erschien das Werk „Underweysung der messung mit dem zirkel un richtscheyt...“ von Albrecht Dürer. Es enthielt die erste genaue Beschreibung des Grund- und Aufrissverfahrens, die Grundlage der orthogonalen Parallelprojektion, die wir noch heute in konstruktiven Zeichnungen verwenden.

Bild 3.1/1:  
Grund- und Aufriss  
am Beispiel einer  
perspektivischen  
Projektion  
(Dürer, A.:  
Underweysung...  
1525)



In unterschiedlicher Art wurden verdeckte Partien der technischen Objekte auch schon durch „Schnitte“ sichtbar gemacht. Wenn verdeckte Funktionen anschaulich dargestellt werden sollten, kamen „auseinandergezogene Abbildungen“ zum Einsatz. Heute nennt man diese Art „Explosionsdarstellung“. Das folgende Bild zeigt eine frühe Zeichnung dieser Art von Leonardo da Vinci aus dem 15. Jahrhundert. Sie wirkt durch ihre prägnante Darstellung des inneren Aufbaus sehr modern. Der dargestellte Schaltwerksmechanismus ist links als Zusammenbau gezeichnet, rechts in der „auseinandergezogenen Abbildung“.

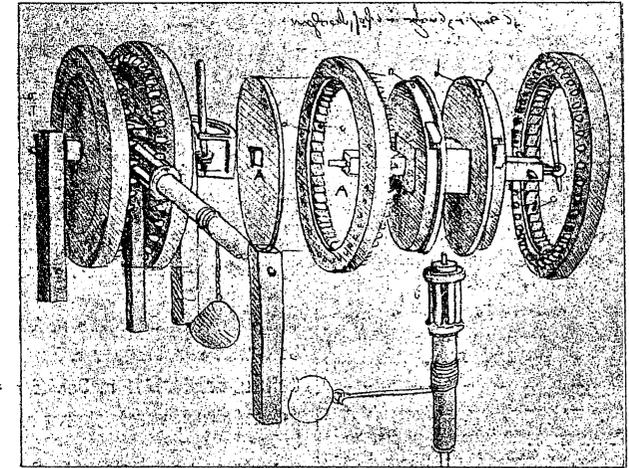


Bild 3.1/2:  
„Explosionsdarstellung“  
eines Mechanismus  
(Leonardo da Vinci,  
um 1500)

Viele der frühneuzeitlichen technischen Bilderhandschriften und Darstellungssammlungen wurden nur sehr begrenzt im Sinne des „konstruktiven Zeichnens“ eingesetzt. Als Grundlage einer baulichen Realisierung eines Objekts waren sie durch ihre ungenaue und unvollständige Darstellung meistens ungeeignet. Daran änderten auch die eingearbeiteten schriftlichen Erläuterungen nichts. Die Zeichnungen enthielten diverse allegorische Elemente, Kuriositäten und technische Spielereien, oft ohne Bezug zur Funktion des Objekts. Benutzt wurden die Blätter von gebildeten Personen zum Vergnügen und zum Kennenlernen mechanischer Besonderheiten. Ihr Verbreitungsgrad war, durch die handwerkliche Herstellung und den erheblichen Preis der Blätter, gering. An eine technische Umsetzung dachten diese Kreise nicht. Nur wenn ein Kunstmeister mit entsprechenden Erfahrungen sich einer Darstellung annahm, sie bereinigte und ergänzte, konnte aus diesen Bilderhandschriften etwas Nutzbares entstehen. Die direkt zur Umsetzung verwendeten Dokumente und Zeichnungen sind nicht erhalten geblieben. Sie wurden oft nur als schnell vergängliche Skizzen auf Wände oder Tische gezeichnet. Erhalten sind nur einige Linearrisse in Stein und sehr selten Skizzen auf Pergament. Sehr kontrovers kann man darüber diskutieren, ob die Künstler, die diese „technischen Bilderhandschriften“ gezeichnet haben, die Funktion der Objekte verstanden haben. Viele Zeichnungen dieser Zeit zeigen Maschinen, die, so wie dargestellt, schwerlich hätten funktionieren können. Kritisch in diesem Zusammenhang ist auch das Kopieren sehr alter Darstellungen von Hand und deren Ergänzungen um neuere oder bessere Funktionen zu sehen. Wenn die Ursprungsfunktion schon nicht hinreichend verstanden wurde, was sollte die Kopie ergeben? Das folgende Beispiel zeigt ein mechanisches Hebezeug mit Haspel- und Göpelantrieb von Francesco di Giorgio. Das Original wurde um 1470 gezeichnet. Im folgenden Bild ist das Original links und eine Kopie aus dem Jahre 1545 rechts dargestellt. Eine Kommentierung erübrigt sich.

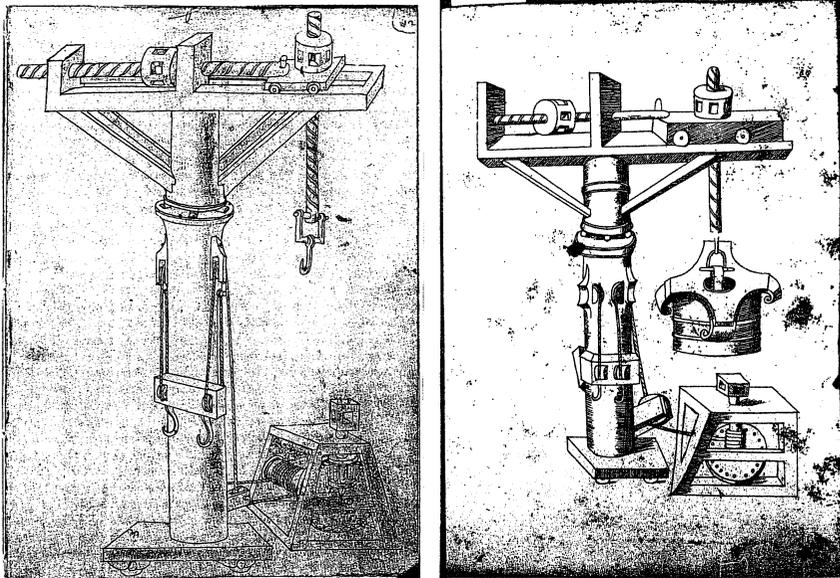


Bild 3.1/3: Übertragungsfehler eines Kopisten bei einem mechanischen Hebezeug

Die Übertragungsfehler der Kopisten reichten bis zu sinnlosen Verzeichnungen des Originals. Im folgenden Bild ist eine doppelte Pumpe mit Antrieb der Pumpenkolben durch zwei „Kurbelschleifengetriebe“ dargestellt. Das Original, links, wurde um 1600 von Zonca angefertigt. Rechts ist eine völlig unsinnige Kopie aus dem Jahr 1726 wiedergegeben.

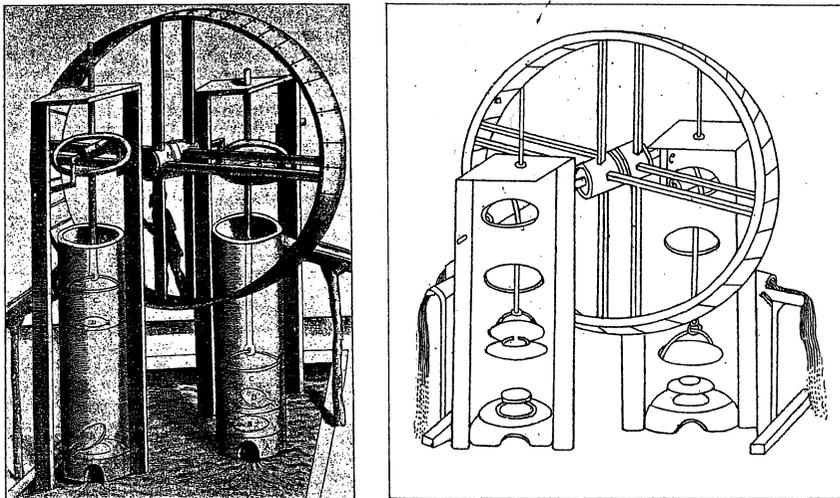


Bild 3.1/4: Übertragungsfehler eines Kopisten bei einer doppelten Pumpe

Eine Vorstellung von den zeichnerischen Vorgaben, nach denen tatsächlich in den Werkstätten gearbeitet worden ist, kann man aus folgendem Bild ersehen. Dargestellt ist die Konstruktion eines Hebadaumens von J. Mariano (15. Jahrhundert).

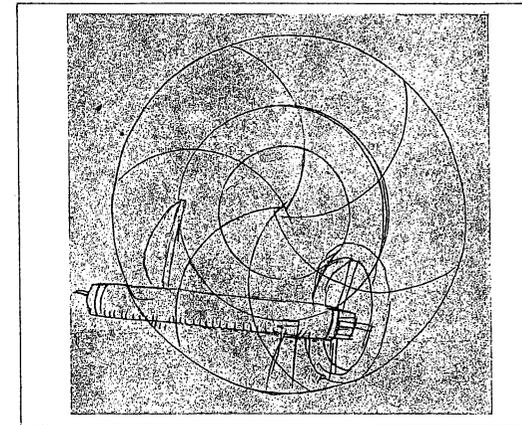


Bild 3.1/5:  
Entwurf eines Hebadaumens,  
Handskizze auf Pergament  
(Mariano, 15. Jahrhundert)

Die Regeln zur Anfertigung von Zeichnungen der Technik waren in der Praxis noch sehr uneinheitlich, sogar individuell unterschiedlich. Die freie Zeichnung in individueller Manier war zwar auf dem Rückzug, aber die gebundene Zeichnung besaß noch längere Zeit Elemente mit allegorischem Charakter und persönlichen Stilelementen. Wenn die Umsetzung von der Idee zum Objekt in einer Hand lag, war diese Darstellungsvielfalt kein Problem. Mit zunehmendem Handel und der Aufteilung der Anfertigung auf verschiedene Gewerke an unterschiedlichen Orten, wurde die Notwendigkeit zur eindeutigen und einheitlichen Darstellung immer dringender. In Frankreich nahm sich der Mathematiker und Ingenieur Girard Desargues (1591 bis 1661) des Problems an. Er versuchte die verschiedenen Zeichenkonstruktionen und anschaulichen Darstellungen in einem geschlossenen Ansatz zusammenzufassen. A.-F. Frézier (1682 bis 1773) verfasste ein detailreiches dreibändiges Werk über das Grund- und Aufrissverfahren. Diese Ansätze und die Arbeiten weiterer Mechaniker, Instrumentenbauer und Ingenieure führten im 17. Jahrhundert zu den Anfängen eines eigenständigen „Maschinenzeichnens“. Gaspard Monge (1746 bis 1818) analysierte die einzelnen Ansätze in seinem Werk „Géométrie descriptive“ und stellte sie auf eine exakte wissenschaftliche Basis, einschließlich der Übertragung der zeichnerischen Ausführungen in mathematische Funktionsgleichungen der analytischen Geometrie. Damit war die endgültige Trennung von der „klassischen“ Zeichenkunst vollzogen. Die Künstler, die technische Objekte darstellten, hatten ihren Schwerpunkt auf anschauliche Effekte in ihren Darstellungen gelegt. Jetzt trat die Funktion, die genaue geometrische Darstellung, die Maßhaltigkeit in den Vordergrund. Die technische Zeichnung war endgültig zum verbindenden Element zwischen der Idee und der Realisierung durch die Herstellungstechniken geworden.

Erste Fachbücher, die sich ausschließlich mit den Problemen des technischen Zeichnens auseinandergesetzt haben, sind Anfang des 19. Jahrhunderts erschienen. In ihren Titeln werden die Begriffe „konstruktives Zeichnen“, „Maschinenzeichnen“, „technisches Zeichnen“ u. a. m. synonym verwendet. Eines der ersten war das 1830 in Paris erschienene Werk „Choix de Modèles, Dessin des Machines“ von Le Blanc. Es beinhaltete: Projektionslehre, Durchdringungen, Darstellung unterschiedlicher Maschinenteile, anschauliches Zeichnen, verschiedene Arten der Perspektive und Hinweise zum Vorgehen beim Erstellen einer technischen Zeichnung.

In Deutschland haben die Bücher von Ernst Mayer „Anleitung zum technischen Zeichnen“ von 1869 und Guido Schreiber „Das Technische Zeichnen“ von 1871 eine größere Verbreitung gefunden. Das vierteilige Werk von Schreiber charakterisiert sehr deutlich auch die umfassende Bedeutung des technischen Zeichnens. Es beinhaltet: lineares Zeichnen, projektives Zeichnen, die Perspektive, die Schattenlehre, die Farbenlehre, das technische Fachzeichnen, das architektonische Fachzeichnen und das topographische Fachzeichnen.

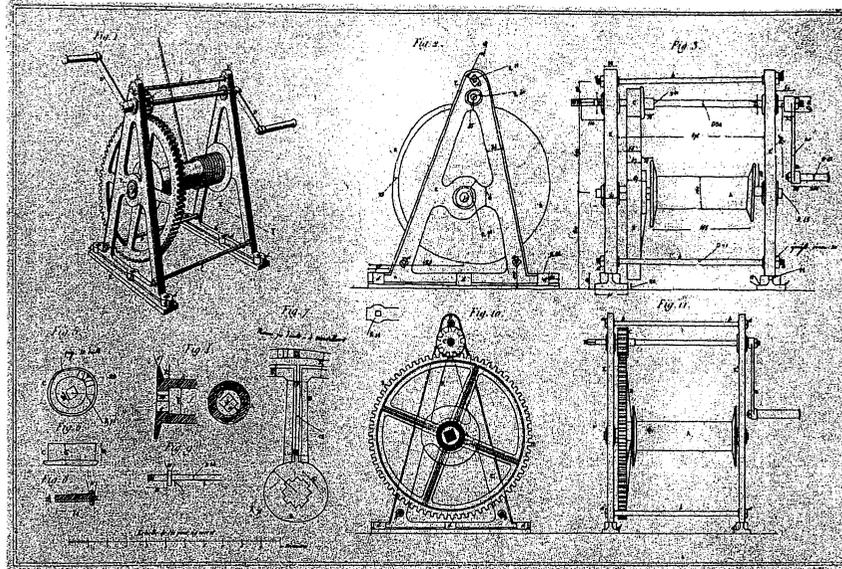


Bild 3.1/6: Beispiel aus dem Werk von Le Blanc: „Choix de Modèles, Dessin des Machines“, Paris 1830 (Zeichnung einer Handwinde, zum einen in perspektivischer Darstellung und rechts in der Projektion)

Eine technische Zeichnung muss vom Betrachter „gelesen“ werden. Der Begriff des „Lesens“ im Zusammenhang mit bildlichen Darstellungen ist nicht neu. Bei „klassischen“ Linearzeichnungen spricht man zwar nicht von „Lesen“, sondern von Interpretationen, von Bildbeschreibungen, Bildsprachen u.ä. Bei technischen Zeichnungen ist es nicht grundlegend anders. Die dargestellten Objekte sind eingebettet in eine bestimmte Epoche mit eigenem Stil und Wissensstand. Das im Gedächtnis der Menschen gespeicherte Wissen ist ein Abbild der jeweiligen Zeit. Aus diesem Wissen werden die Lösungen eines technischen Problems generiert, die Realisierung der notwendigen Funktionen und die Formensprache. Die technologische Basis bestimmt die Möglichkeiten der Ausführung. Grundvoraussetzung zum „Lesen“ einer technischen Zeichnung ist eine allgemein verbindliche „Syntax“, also die Verbindung von zeichnerischen Elementen, Symbolen und die verbindliche Art der Darstellung. Das war mit den grundlegenden Arbeiten von Monge erreicht worden. Was fehlte war ein einfaches und verständliches Einheitensystem. Es dauerte nochmal fast 100 Jahre, bis eine endgültige Einigung über die Einheiten der wichtigsten physikalischen Größen im internationalen Rahmen gefunden wurde. Frankreich hatte eine Vorreiterrolle. Für Längenmaße durfte dort ab dem 1. Januar 1840 nur noch das Meter verwendet werden. Ab 1849 wurden in Frankreich beispielsweise Eisenprofile nur noch nach dem metrischen System gewalzt.

Im Laufe der Zeit entstand ein hochentwickeltes, komplexes Verständigungsmittel zwischen den Ingenieuren, Mechanikern und Maschinenarbeitern. Zum „Lesen“ einer technischen Zeichnung brauchte man Zeit, Kenntnisse und Erfahrungen. Die Fülle an Informationen war immens. Hunderte Symbole und Kurzzeichen ergänzten die Bildsprache und waren zu interpretieren. Das Verstehen und entschlüsseln komplexer Zeichnungen ist auch heute noch ein schwieriger Unterfangen. Konstruktive Zeichnungen erscheinen dem Betrachter als vollständig und eindeutig, absolut rational, sehr präzise und zeichnerisch perfekt. Hinter ihrer Ästhetik verbirgt sich aber eine Unmenge an vagen Annahmen, nicht mehr erkennbare Urteile, intuitive Entscheidungen, groben Abschätzungen und Vermutungen zur Herstellung und Anwendung. Der Weg zur endgültigen Zeichnung ist ein komplexer und subtiler Prozess, manchmal der Kunst näher als der Wissenschaft. Selbst in den einfachsten Linearzeichnungen der Technik ist die Verwurzelung in der jahrhundertealten Tradition des Handwerks und der frühen „Ingenieure“ erkennbar.

Wenn man den Betrachtungsrahmen bei der Entwicklung des konstruktiven Zeichnens ab der Frührenaissance und danach den Schwerpunkt auf „technische Zeichnungen“ legt, so zeigt sich insbesondere im 18. und 19. Jahrhundert eine deutliche Erweiterung der Zielgruppe. Bei den „Lesern“ der Zeichnungen standen zwar die technisch versierten Fachleute im Vordergrund, aber die konstruktiven Zeichnungen fanden auch im allgemeinen Publikum ein zunehmendes Interesse. Sie waren mit etwas Mühe eindeutig zu interpretieren und zeigten in Kurzform alles Wesentliche. Eine verbale Beschreibung der Funktionen eines gezeichneten Objekts würde u.U. hunderte von Seiten füllen, bei geringer Verständlichkeit. Die Zeichnungen wurden zunehmend auch in den nicht technischen Periodika und anderen Druckerzeugnissen eingesetzt, auch in den bekannten großen Lexika. Konstruktive Zeichnungen waren nicht nur Anleitungen zur Herstellung technischer Objekte.

Im Laufe der Zeit ist eine Vielzahl an weiteren Funktionen hinzugekommen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit, sind das:

- Präsentationszeichnungen auf Ausstellungen, Maschinenmessen etc.,
- Verkaufszeichnungen, Prospektzeichnungen,
- Zeichnungen in Anleitungen und Betriebsanweisungen,
- Technische Zeichnungen in gedruckten Büchern,
- großformatige Zeichnungen in Tafelbänden,
- Zeichnungen in technischen Periodika,
- Zeichnungen in Patentunterlagen,
- Zeichnungen für die Ersatzteilbeschaffung
- u.a.m.

Die technische Zeichnung veränderte das Machtgefüge in den Betrieben radikal. In den traditionellen Werkstätten des Handwerks hatten versierte Arbeiter, Vorarbeiter und Kunstmeister großes Ansehen und eine hohe Verantwortung für das Gelingen der Arbeit. Pläne, soweit erforderlich, wurden mit einfachen Mitteln (Kreide, Bleistift) als Handskizzen auf vorhandene Flächen (Tische, Wände) oder den Boden gezeichnet. In den traditionellen Werkstätten stellte häufig der Vorgesetzte vor Ort seine eigenen Arbeiter ein und beschaffte das notwendige Material. Er war quasi ein Vertragspartner des „Fabrikbesitzers“. Er entwarf selbst oder mit seinen Arbeitern die geforderten Maschinen und lieferte sie an den Besitzer der „Fabrik“. Dieses Arbeitsprinzip hatte seine Grenze, wenn unterschiedliche Gewerke an einem Auftrag beteiligt waren. Wenn diese zusätzlich noch an verschiedenen Standorten arbeiteten, brauchte man ein flexibles, einfaches Informationsmedium. Der Maschinenplan an einer Tafel in der Werkstatt, auf einem Tisch oder auf dem Boden skizziert reichte nicht mehr. Ende des 18. Jahrhunderts verlagerte sich das „Entwerfen einer Maschine“ mehr und mehr aus dem betrieblichen Geschehen in einen Bereich außerhalb der Werkstätten. Die Pläne wurden zunehmend auf Papier gezeichnet. Wenn sie unter mehreren Werkstätten verständlich

sein sollten, waren einige Regeln zur zeichnerischen Darstellung erforderlich. Diese technischen Dokumente wurden im Laufe der Zeit immer komplizierter. Zur Anfertigung der Zeichnungen waren entsprechende Fähigkeiten und Kenntnisse notwendig. Bei komplizierteren Problemen mussten auch entsprechende Berechnungen durchgeführt werden. In vielen Bereichen wurde bei der Lösung statischer oder kinematischer Probleme mit graphischen Verfahren gearbeitet. Diese Verfahren waren zwar zeichnerisch meist nicht sehr anspruchsvoll, erforderten aber umfassende Kenntnisse der entsprechenden Theorien (und hinreichend Übung).

Mit zunehmender Vereinheitlichung, der Entwicklung umfangreicher Regelwerke für das Zeichnen und dem Einsatz spezieller Zeichenhilfsmittel wurde aus der Kunst des konstruktiven Zeichnens das Handwerk des Maschinenzeichners. Ein Ergebnis dieser Entwicklung war, dass ein Großteil der funktionalen und herstellungsrelevanten Entscheidungen auf besondere Abteilungen verlagert wurde. Das Wissen und die Erfahrungen der in den Werkstätten tätigen wurde Schritt für Schritt in die technischen Abteilungen der Betriebe verlagert. Das führte zu einer Dequalifizierung der Personen in den Werkstätten. Als nächstes wurde eine weitergehende Differenzierung innerhalb des Konstruktionsprozesses in mehrere Phasen mit unterschiedlichen Anforderungen an die Qualifikation der Ausführenden notwendig.

Die Aufteilung von Entwickeln in Konstruktionsbüros und Ausführen in Werkstätten aller Art war nicht unumstritten. Sie ist es bis heute nicht. Die vollständige Verlagerung der Entwicklungsarbeit und aller Entscheidungen aus der Welt des „Handelns“ in eine Welt der „Theorie“ hatte viele Nachteile, von „nach Zeichnung“ nicht herstellbaren Einzelteilen über nicht montierbare Maschinen bis zu allerlei „Nichtfunktionen“ ist alles Erdenkliche vorgekommen (und kommt im Zeitalter der CAD-Systeme auch heute noch vor).

Im Laufe des 19. Jahrhunderts konnte durch eine weitgehende Formalisierung der Zeichnungselemente und durch Einführung einer standardisierten Symbolik im nationalen Rahmen eine größere Verständlichkeit erreicht werden. Am Ende des 19. Jahrhunderts waren die Bemühungen zur Vereinheitlichung so weit fortgeschritten, dass man auch über Landesgrenzen hinaus mit technischen Dokumentationen arbeiten konnte. Anfang des 20. Jahrhunderts waren technische Zeichnungen in Deutschland aber noch nicht vollständig vereinheitlicht. So hatten große technische Lehranstalten beispielsweise in den Darstellungsweisen ihren eigenen „Stil“. Diese Bemühungen führten dann im Verlauf des 20. Jahrhunderts zu den einheitlichen Regelwerken für technische Dokumentationen. In Deutschland wurde der erste Entwurf über Zeichnungsnormen 1917 vom „Normalienausschuß für den deutschen Maschinenbau“ veröffentlicht. Im gleichen Jahr wurde der „Normenausschuß der Deutschen Industrie (umgangssprachlich: DIN)“ gegründet.

In den folgenden Abschnitten wird anhand einiger Beispiele die Entwicklung der technischen Zeichenkunst gezeigt. Es werden ausschließlich Objekte der Technik dargestellt. Die Beispiele sind chronologisch geordnet. Die Erläuterungen zu den einzelnen Beispielen sind einheitlich strukturiert, je nach Informationslage allerdings nicht immer vollständig:

- Jahr der Bild- bzw. Zeichnungserstellung,
- Künstler, Zeichner,
- Hinweise zur Art der Bildanfertigung, Zeichentechnik,
- Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion, Titel, Inhalt, Thema,
- technikgeschichtliche Bedeutung,
- Analyse der zeichnerischen Darstellung (Bildperspektive, Projektion, Gesamtansicht, Detailansicht, Schmitte, Symbole, Textanteil, Maße),
- Erläuterung der zeichnerischen Ausführung (Bildaufbau, Darstellungsweise, zeichnerischer Ausdruck, individueller Anteil, Farbgebung, Lavierung, grafische Elemente, Schattierung),
- Zusammenfassung.

Einige aufwendig kolorierte Zeichnungen von Maschinen und Anlagen aus dem 18. und 19. Jahrhundert werden farbig wiedergegeben. An diesen Beispielen zeigt sich sehr deutlich der ästhetische Aspekt der konstruktiven Zeichenkunst. Bei der Betrachtung kann sich der technisch versierte Leser dem Reiz kaum entziehen. Ihre künstlerisch aufwendige Gestaltung hatte sicherlich nicht ihren Ursprung in der eindeutigen Darstellung der Funktion des Objekts und deren Geometrie. Es ging den Zeichnern auch darum, den Wert der Konstruktion, die Einmaligkeit und Schönheit darzustellen. Die Zeichnungen waren für eine dauerhafte Dokumentation vorgesehen und meist auf Leinen gezeichnet. In den Archiven technischer Museen findet man viele, die die Jahrhunderte fast unversehrt überdauert haben. Natürlich waren diese Zeichnungen nicht für den Werkstattgebrauch vorgesehen. Sie wurden in erster Linie zur Präsentation im Bereich der Hersteller oder bei Maschinenmessen eingesetzt. Auch viele Unterlagen zu technischen Objekten, die bei Behörden beispielsweise zur Genehmigung vorgelegt werden mussten, waren sehr aufwendig gezeichnet. In der frühen technischen Literatur und einigen Periodika sind handkolorierte Zeichnungen ebenfalls anzutreffen.

Beim raschen Durchgehen der Zeichnungsbeispiele wird noch eine weitere Veränderung deutlich. Während bei den älteren konstruktiven Zeichnungen noch Zuordnungen zum Künstler oder Zeichner möglich sind, verliert sich diese zunehmend im 19. Jahrhundert. Das Dilemma, der Zeichnung eine persönliche oder betriebsspezifische „Handschrift“ zu geben und der Anspruch einer allgemein verständlichen Ausdrucksform, war ohne zeichentechnische Regelwerke nicht zu lösen. Die konstruktiven Zeichnungen wurden „unpersönlicher“ und als Folge dieser Vereinheitlichungen immer ähnlicher. Die Kunst des konstruktiven Zeichnens verschwand. Aus der Kunst wurde ein Handwerk. Zeichner und Zeichnung wurden austauschbar. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ist eine Zuordnung von Zeichner und Zeichnung kaum noch möglich. Erst durch Einführung des „Schriftfeldes“ auf den Zeichnungen sind der Konstrukteur und der Zeichner wieder identifizierbar geworden.

#### Bemerkung:

In den Kapiteln 3.2 folgende sind Beispiele konstruktiver Zeichnungen wiedergegeben. Einige dieser Zeichnungen sind farbig angelegt worden. Neben den Buntstiften für farbige Umriss- und Maßlinien sind farbige konstruktive Zeichnungen zumeist mit den wässrigen Techniken der Tusche-, Aquarell- oder Temperazeichnung mit Pinseln ausgeführt worden. Dabei erreichte man sehr gute räumliche Effekte durch das Lavieren. Eine Lavierung, oft auch als Lavur bezeichnet, ist die Ausarbeitung einer Farbe durch Verdünnen der Ausgangsfarbe (z.B. einer Aquarellfarbe) und Verziehen mit dem Pinsel zu immer schwächeren Farbeindrücken hin. Die Farbe wird dabei kontinuierlich zunehmend mit Wasser verdünnt. Die Lavierung gestattet einen Eindruck von Plastizität, Licht und Schatten zu erzeugen sowie die räumliche Wirkung einer Tiefenstaffelung anzudeuten. Größere Verbreitung hat sie in der Renaissance gefunden. Als eigenständige Technik wird sie kaum eingesetzt. In erster Linie wurden mit Lavuren Strichzeichnungen verbessert.

**Bemerkung.**

Konstruktive Zeichnungen mussten vom Betrachter „gelesen“ werden. Eine Voraussetzung dafür ist die, wenigstens in Teilbereichen, vereinbarte und verbindliche Art der Darstellung. Die im Abschnitt 3.2 aufgeführten Beispiele konstruktiver Zeichnungen beginnen in der Frührenaissance. In dieser Phase begann man, die Darstellungen „allgemein verständlich“ anzufertigen. Die aufgenommenen Beispiele im Abschnitt 3.2 können demnach zum Teil mit dem Wissen über heutige „Darstellungsarten“ interpretiert werden. Bei Darstellungen technischer Objekte des Mittelalters ist das zu einem erheblichen Teil nicht gegeben. Es gab keine einheitliche „Syntax“ für die Interpretation des Dargestellten. Die Zeichnungen waren in einem individuellen Stil ausgeführt, es wurde ein Wissen vorausgesetzt, das heute nicht mehr vorhanden ist, der Konkretisierungsgrad funktionswichtiger Elemente war sehr unterschiedlich, wesentliche Dinge fehlen, sie waren damals Selbstverständlichkeiten. An einem Beispiel, der Idee zu einem selbstbeweglichen Sturmwagen von Guido da Vigevano (um 1300), soll der Sachverhalt erläutert werden. Vermutlich sollte der Wagen mit Hilfe von Kurbelmechanismen und Zahnradgetrieben vorwärts bewegt werden. Die Kraftübertragung auf die mit Zahnradern versehenen Speichenräder des Wagens ist mit heutiger „Sehweise“ nicht mehr verständlich.



Bild 3.1/7: Konstruktive Zeichnung eines Sturmwagens für militärische Zwecke (Guido da Vigevano, um 1300)

**Bemerkung:**

Eine Schlüsselfunktion für die „technischen Wissenschaften“ und das technische Zeichnen hatte in Deutschland Ferdinand Redtenbacher (geb. 25. 7. 1809 in Wien, gest. 16.4.1863 in Karlsruhe). Er war von 1841 bis zu seinem Tode Hochschullehrer an der Polytechnischen Schule in Karlsruhe. Weitere Namen bekannter Maschinenwissenschaftler mit Einfluss auf die Entwicklung des technischen Zeichnens waren: Franz Reuleaux (u.a. Polytechnikum in Zürich, einer der Schüler Redtenbachs), Franz Grashof (Nachfolger Redtenbachs in Karlsruhe), Ritter von Gerstner (polytechnischen Schule in Wien und Prag), Johann Josef Ritter von Prechtel (Gründer des Polytechnischen Instituts in Wien), Gustav Schmidt (Lehrer am Polytechnischen Institut in Prag) u.a.m. In Anerkennung der Arbeit Redtenbachers schreibt C. Kreßschmann 1864 in der „Zeitung des Vereins deutscher Ingenieure“: „Vergleicht man die raschen Erfolge der deutschen Technik und Industrie mit denen der von ihr so verschiedenen englischen, so kann man sich der Überzeugung nicht verschließen, daß die deutsche in den letzten Jahrzehnten einen potenzierten Fortschritt gemacht hat, als ihre Mutter, die englische. Bei den ungünstigen staatlichen und finanziellen Verhältnissen Deutschlands muß das um so mehr befremden, als die deutsche Technik von Anfang an ihren eigenen Weg gegangen ist und gehen mußte, so viel man auch über Nachahmen der Engländer gesprochen hat. Die Engländer sind nie viel über die reine Empirie hinausgekommen, und auch wir haben uns eine Zeit lang dazu bekannt, bis die Wissenschaft uns den Weg gezeigt, den wir gehen müssen. ... Dieses Factum verdankt Deutschland, neben dem Hang der Deutschen zur Gründlichkeit und Gediegenheit, vornehmlich seinen polytechnischen Schulen und den Männern, welche deren Ausbildung und Vervollkommnung möglich machten, welche die theilweise schon fertige Wissenschaft der Mathematik, und die noch im Entstehen begriffene, die Naturwissenschaft, sofort so verarbeiteten, daß sie für die Industrie direct anwendbar wurden. Einer dieser Männer mit dem edlen Berufe, die allgemeine Menschheit Nutzen ziehen zu lehren von den an und für sich toten Wissenschaften, war der mit dem hohen Rufe der Carlsruher Schule eng erwachsene berühmte Lehrer Ferdinand Redtenbacher.“

**Bemerkung:**

Unsere heutige Umwelt ist in ihren Grundlagen geprägt von den naturwissenschaftlichen Disziplinen. Die uns umgebenden Dinge, ihre Größen, Formen, Funktionen und Anordnungen, die Art und Weise ihrer Nutzung, ihr ganzes Erscheinungsbild ist aber nicht das Ergebnis einer rein naturwissenschaftlich eindeutigen Komposition. Sie wird im weitesten Sinne von „Techniker festgelegt“, die natürlich in ihre Zeit eingebunden sind. Eingebunden bedeutet, dass die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, der Stand der Wissenschaften, die Stile der Epoche, die Ziele der Produzenten, die aktuell verfügbaren Materialien und die informationstechnischen und produktionstechnischen Potentiale wesentlichen Einflussfaktoren bei deren Arbeit sind. Es gibt für die reale Ausführung der Dinge eine Unzahl an Varianten und Wahlmöglichkeiten. Die Anzahl der einzelnen Entscheidungen im Entwicklungsprozess technischer Objekte ist immens. Um diesen technischen Realisierungsprozess zu bewältigen ist eine besondere Art des Denkens notwendig. Die entsprechenden Kategorien liefern die Methodologie und die Denkpsychologie.

Es wurde in den zurückliegenden Epochen eine unendliche Zahl technischer Probleme gelöst. Zu deren Lösung standen natürlich keine „Algorithmen“ zur Verfügung. Auch die aufwendigsten mathematischen Modelle waren nur zur Lösung einzelner und zumeist einfachster Probleme geeignet. Trotzdem entstand eine heute kaum vorstellbare Vielfalt an Lösungen selbst bei gleichen oder ähnlichen Problemstellungen, und zwar in kürzester Zeit. Des Rätsels Lösung liegt in der methodologischen Kompetenz der Akteure, insbesondere in der Nutzung heuristischer Problemlösungsmethoden. Diese Methoden generieren keine Lösungssicherheit, sie erlauben aber mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, ein Problem zu lösen. Wichtig ist, dass die handelnden Akteure bei der praktischen Arbeit sich ein individuelles Repertoire an Lösungsmethoden aufgebaut haben, das durch Erfahrungen und Lernen immer erfolgreicher und effizienter eingesetzt werden kann. Es ist noch heute erstaunlich, dass die Lösungen technischer Probleme mit vorgegebenen Zielen ohne sichtbare Zuhilfenahme von Berechnungen und anderen Hilfen gelang. Zum Beispiel die Entwicklung möglichst preiswerter Lösungen. Die Ingenieure haben in den Zwischenschritten des Entwicklungsprozesses nachweislich nie eine Kalkulation durchgeführt und trotzdem das Ziel erreicht.

Die andere Kategorie liefert die Denkpsychologie. Bekannte Stichworte sind dabei, wie schon erwähnt, stark vereinfacht: sprachliches Denken – nicht sprachliches Denken. Die Ingenieurkunst wird weitgehend bestimmt durch das nicht sprachliche Denken. Es umfasst u.a. den gesamten Bereich der sensorischen Interaktionen mit der Umwelt. Der wichtigste Bereich ist der des Visuellen und deren Verarbeitung. Nichtsprachliches Denken heißt: nichtsprachliches, bildliches Lernen, bildliches Verstehen, visuelles speichern, bildliches Ausdrücken von dem was man will und bildliche Ausführungsdokumentation. Lange bevor das technische Objekt existiert entsteht von ihm eine Vorstellung im „visuellen Gedächtnis“, im „inneren Auge“. Es wird im Gedächtnis in den unterschiedlichen Konkretisierungsstufen, von der ersten Idee, über die Entwürfe bis zum endgültigen Plan, bewertet, zig mal verändert, zig mal zusammengesetzt, gehandhabt, in der Fertigung gebaut usw. Freie Skizzen und Zeichnungen unterstützen den Prozess. Die Versuche einer sprachlichen Dokumentation technischer Objekte, einige Versuche gab es zu Beginn des 19. Jahrhunderts, sind alle gescheitert. Die Skizze und Zeichnung ist in der Technik die Basis für alles, für den kreativen Prozess der prinzipiellen Lösungsfindung, das Entwerfens und Ausarbeiten bis zur Ausführung des Objekts.

## Bemerkung:

Natürlich heben sich auch die „Zeichenarbeiter“, die Konstrukteure und Ingenieure als unmittelbar Betroffene Gedanken zu den kognitiven Prozessen ihrer Arbeit gemacht. An schriftlichen Informationen, an Theorien, Hypothesen, Modellen etc. ist davon in der Literatur aber fast nichts zu finden. Diese „innere Welt“ der problemlösenden Arbeiten war damals ohne Belang. Wichtig war nicht das „Wie“, sondern nur das „Was“, die gute Lösung des Problems. Einige Stichworte zu diesem Aspekt der konstruktiven Arbeit findet man in den Werken der bekannten Maschinenwissenschaftler jener Zeit, z.B. bei Redtenbacher. Darüber hinaus gab es einige isolierte Ansätze von Praktikern, die versucht haben, die gedanklichen Wege, die zur Lösung eines konstruktiven Problems geführt haben, nachzuzeichnen. Ein Beispiel ist nachfolgend wiedergegeben. Die Terminologie und der Wissenstand entsprechen denen der Zeit. Das Beispiel wurde der Zeitschrift „Der Motorwagen“ aus dem Jahr 1921, S. 534 ff. entnommen und wird hier fast ungekürzt wiedergegeben.

## Ueber die geistigen Vorgänge beim Konstruieren und Erfinden.

Von Otto Winkler, Ingenieur und Fabrikdirektor.

Auf dem Konstruktionsbüro wird ein neuer Wägentyp durchgebildet. Die Herren sind mit der Ausarbeitung der Entwürfe beschäftigt. Einer von ihnen hat, so scheint es, eine besonders schwierige Aufgabe zu lösen. Er schaut unverwandt die Zeichnung auf seinem Brette an, die erst aus wenigen Strichen besteht. Plötzlich erheben sich seine Züge, „Ich hab's“, ruft er — und rasch ist die neue Idee zu Papier gebracht.

Trete ich jetzt an diesen Konstrukteur heran und frage ihn: „Was haben Sie nun gemacht?“, so wird er nicht seine Tätigkeit, sondern das Resultat seiner Tätigkeit, nämlich seine Neukonstruktion mit einer gewissen Lebhaftigkeit schildern, so, als stände sie schon in Wirklichkeit vor ihm. Er wird sich kaum bewußt, daß die Manifestierung dessen, was er erst ausgedacht hat, noch erfolgen muß. Er lebt in seinen Vorstellungen und bewegt sich darin wie in der realen äußeren Welt; mehr noch, er gewahrt gleichzeitig Beziehungen, Kraftwirkungen usw., die in der äußeren Natur nicht ohne weiteres sinnfällig werden.

Frage ich jetzt: „Was hat Sie zu dieser Lösung geführt?“, so wird in neunundneunzig von hundert Fällen ein erstaunter Blick die Rückfrage sein. Ich erläutere also: „Ich meine, durch welche logische, geschlossene Begriffsfolge kamen Sie zu diesem Ergebnis?“ Dann — vielleicht — kommt eine etwas vage Schilderung, aus der eigentlich nur zu entnehmen ist, daß er „nachgedacht“, „überlegt“ habe und schließlich nach einigen Abänderungen die vorliegende Konstruktion „gefunden“ habe. Und sicher wird zum Schluß — gleichsam aufatmend, wieder einen festen, bekannten Boden gefaßt zu haben — nochmals genau aus einandergesetzt, daß die Neukonstruktion „so sei“, daß sie allen Anforderungen genüge.“ Die Frage, wie sie geworden ist, wird fast gänzlich überhört.

Ich habe derartige Fragen des öfteren gestellt, da es mir von Wichtigkeit erschien, die Art der Vorstellungen, der Begriffe und Ideen, die bei jedem Konstrukteur anders „geföhnt“, sind, kennenzulernen, um mir die Möglichkeit zu schaffen, die Form meiner Vorschläge den persöhnlich verschiedenen konstruktiven Denkarten anzupassen und das erstrebte Ziel auf dem für den Konstrukteur gemäßigtesten Wege sicher und gleichsam zwanglos zu erreichen. Wenn nun auch individuelle Unterschiede zu konstatieren sind, so liegt doch aller konstruierenden Tätigkeit ein Gemeinschaftliches zugrunde. Bei dem Bemühen, dieses zu erfassen, muß man zunächst feststellen, daß der Konstrukteur nur undeutliche Vorstellungen darüber besitzt, wie Neukonstruktionen oder gar Erfindungen in seinem Gehirn zustandekommen. Er weiß nur, daß er mit Hilfe des Denkens eine brauchbare Lösung „findet“, und daß damit die Konstruktion dann „da ist“. Diese erscheint ihm innerhalb seiner Vorstellungswelt bald so klar, daß er sie fast plastisch oder auch bereits übersetzt in die gebräuchlichen zeichnerischen Symbole schaut, wobei außerdem gegenseitige Beziehungen der Einzelteile (Kraftwirkungen u. dgl.) und andere, über den engeren Rahmen der eigentlichen Gestalt hinausgehende (Montagemöglichkeiten usw.) ohne Störung des Vorstellungsbildes deutlich überblickt und kritisiert werden können.

Vorher war diese Vorstellung von der Neukonstruktion nicht da. Der Konstrukteur ist sich bewußt, daß, wenn er nicht nachgedacht hätte, sie in seinem Kopf niemals aus dem Nichts hervorgegangen wäre. Er hat also ihr Zustandekommen bewirkt. Aber unklar, ja geradezu gestaltet erscheinen ihm die Vorgänge, die sich bei diesem stattgefundenen Prozeß abspielen, den er durch seine bewußt gewollte Tätigkeit (nämlich eine Lösung für eine bestimmte Aufgabe zu finden) eingeleitet und kontrolliert hat und der sich innerhalb seines geistigen Selbst voll-

zog; im besonderen dann, wenn ihm das Resultat scheinbar plötzlich „einfällt“.

Mir ist nicht bekannt, daß philosophische Untersuchungen über das Denken und Erkennen schon auf das Wesen der konstruierenden und erfindenden Tätigkeit bezogen worden sind. Es seien deshalb hier die wichtigsten Vorgänge beleuchtet, indem ich mir vorbehalte, eine ausführliche, mit Literaturhinweisen versehene Darlegung, Abgrenzung und Rechtfertigung aller in Betracht kommenden Momente später folgen zu lassen.

Die geistige Tätigkeit, die wir Konstruieren nennen, besteht fraglos aus gewissen Vorgängen, die sich in unserem Bewußtsein — im weitesten Sinne gefaßt — abspielen. Ein solcher, wie immer gearteter Vorgang innerhalb des Bewußtseins kann sich aber nur dadurch ausdrücken, daß Änderungen an dem auftreten, was zur Zeit des Vorganges als Bewußtseinsinhalt gegeben ist. Um also den geistigen Vorgängen beim Konstruieren und Erfinden näherzukommen, ist es zunächst erforderlich, daß wir den Bewußtseinsinhalt kennenlernen und untersuchen.

Zu dem Zwecke erfassen wir in einem bestimmten Augenblick den Bewußtseinsinhalt. Enthalten, uns dann aber jeglicher Tätigkeit an diesem und beschränken uns lediglich auf seine Wahrnehmung. Durch die Enthaltung von aller geistigen Tätigkeit wird es unmöglich, daß irgendwelche Interessen von uns aus an den Wahrnehmungsinhalt geknüpft werden. Es können überhaupt keine geistigen Beziehungen zwischen verschiedenen Wahrnehmungspunkten oder zwischen diesen und uns stattfinden. Die Wahrnehmungen sind für uns vielmehr lediglich gegeben. Hierbei kann zwar der Ablauf eines Vorganges zur Wahrnehmung gelangen, der Zusammenhang aber bleibt dunkel. Die menschliche Natur empfindet daher den Drang, im Gegebenen mehr zu finden als unmittelbar gegeben ist. Das „Ich“ ergreift von sich aus in freier Tätigkeit die Wahrnehmungen mit Hilfe des Denkens. Durch dasselbe werden Begriffe und Ideen in das Blickfeld des Bewußtseins gehoben, die uns auf diese Weise als intellektuelle Anschauung gegeben werden.

Wir wollen nunmehr — soweit es hier interessiert — eine Unterscheidung gewisser Wahrnehmungen machen. Da sind solche, die zurückzuführen sind auf Sinnesempfindungen von Gegenständen der Außenwelt und Selbstwahrnehmungen, durch die uns Zustände unserer Innenwelt (wie Vorstellungen, Begriffe, Ideen, Willensakte, Gefühle usw.) gegeben sind.

Die wahrgenommenen Gefühle, wenngleich auch sie eine gewisse Rolle spielen, und ebenso die Willensakte können hier, wo nur eine kurze Darstellung gegeben werden soll, aus der Betrachtung ausscheiden. Wir wenden unsere Aufmerksamkeit zu:

den Wahrnehmungen der Außenwelt, den Wahrnehmungen der Begriffe und Ideen und den Wahrnehmungen der Vorstellungen.

Bei den Wahrnehmungen von Objekten der Außenwelt beobachten wir, daß sie und die Vorgänge, die sich an ihnen abspielen, vorhanden sind, auch wenn wir uns jeglicher geistigen Tätigkeit enthalten. Anders die Begriffe und Ideen. Sie sind nur dann gegeben, wenn sie durch die Tätigkeit des Denkens herbeigeholt worden sind. Bezüglich der Vorstellung ist folgendes zu bemerken: Die menschliche Natur verhält sich zu den Wahrnehmungen der Außenwelt nicht wie ein Spiegel, in dem sich unendlich viele Dinge widerspiegeln können, ohne an ihm eine Änderung zu bewirken, sondern jede Wahrnehmung eines außer mir befindlichen Objektes hinterläßt in mir eine Änderung meines Selbst. Diese besteht darin, daß ich

nunmehr die Fähigkeit habe, durch Willensakt aus mir heraus das Wahrnehmungsbild wieder zu erzeugen. Das Resultat einer solchen reproduzierten Wahrnehmung ist eine Vorstellung. Diese ist nicht mehr der ursprünglich gegebenen Wahrnehmung kongruent. Da nämlich seinerzeit mit letzterer durch unsere geistige Tätigkeit Begriffe und Ideen verknüpft worden sind, so erscheint bei der Vorstellung auch der auf die bestimmte Wahrnehmung bezogene Begriff. Welche Begriffe aber mit einer Wahrnehmung verbunden werden, ist nicht universell, gesetzlich, sondern individuell. Hier spricht der ganze komplizierte Komplex meines inneren Selbst und meines körperlichen Zustandes mit, so daß also meine Vorstellungen individuell geföhnt sind.

Auf der einen Seite haben wir also Wahrnehmungen, ein als „unmittelbar Gegebenes“, auf der anderen Seite: „Begriffe und Ideen“, die erst durch das Denken herbeigeholt wurden. Die Vorstellungen enthalten Elemente von beiden, sie sind gleichsam individualisierte Begriffe. Die Summe der mir möglichen Vorstellungen bildet so meine Erfahrung.

Nachdem wir als Bewußtseinsinhalt kennengelernt haben: äußere Wahrnehmungen und innere Wahrnehmungen (unter letzteren Vorstellungen, Begriffe und Ideen), versuchen wir jetzt unsere Aufmerksamkeit auf das zu richten, was an und mit diesem Bewußtseinsinhalt geschieht, wenn ich ihn denkend ergreife. Denn alles, was in den Kreis meiner Erlebnisse tritt, wird mir ja erst durch die Beobachtung gewahrt. Da aber entdecke ich, daß ich zwar die in meinem Bewußtsein gegebenen Objekte beobachten kann, nicht aber das tätige Denken über diese Objekte (während des Denkens). Ich beobachte einen Motor und denke über die am Motor beobachteten Erscheinungen nach. Aber ich kann meine Denktätigkeit nicht im gleichen Augenblick beobachten. Das „Ich“, welches das Denken ausführt, nimmt nur solches wahr, was als Objekt vor das Ich hingestellt werden kann. Da nun ein unüberbrückbarer Gegensatz ist zwischen beschaulichem Gegenüberstehen und tätigen Hervorbringen, vermag das Ich das tätige Hervorbringen während des Hervorbringens nicht als Objekt zu beobachten; es fließt vielmehr gleichsam völlig in diese Tätigkeit hinein. Es beobachtet nur das Objekt des Denkens, nicht das Denken selber. Erst nach der Ausführung der Denktätigkeit oder eines gewissen Ablaufes derselben kann ich mir das Denken zwar nicht als aktuelles Denken) als Gedachtes gegenüberstellen.

Diese Rückschau kann aber nur durch einen besonderen Willensakt herbeigeföhrt werden. Beim normalen Denken, mehr noch beim Konstruieren ist das Denken für durch seine Objekte gefesselt und bildet eine kontinuierlich verlaufende Tätigkeit, die bis zu ihrem Ziel, in zu einem Resultat durchgeführt wird. Die Resultate leben dann als Objekte in der Reichweite der inneren Beobachtung. Und zwar aus besonderen Gründen die zuletzt ergrungenen Ergebnisse mit besonderer Deutlichkeit; die Denktätigkeit aber, die bis zu diesem Ergebnis führte, sonnte bei ihrem ununterbrochenen Verlauf nicht Beobachtungsobjekt werden.

Jetzt wissen wir, daß dem Konstrukteur eine Wahrnehmung seiner konstruierenden Tätigkeit nicht möglich ist, daß er nur das durch das Nachdenken gewonnene Resultat oder Zwischenergebnisse wahrnehmen konnte. Durch eine besondere Untersuchung müssen wir deshalb als Denken als Tätigkeit zu ergünden trachten.

Das Denken an sich ist eine Tatsache, an der niemand weifeln wird. Zweifel können nur bestehen über die richtige Anwendung des Denkens, von besonderem Interesse sein, das Wesen des Denkens, soweit er es beim Konstruieren und Erfinden anwendet, näher kennenzulernen. Zunächst beruht das Denken auf meiner freien Tätigkeit, die zwar häufig, jedoch nicht unbedingt, durch irgend-

welche Beobachtungen ausgelöst wird und in ihrer Richtung durch meinen Willen beeinflussbar ist. Die beobachteten Vorgänge haben auf mich keine Wirkung, abgesehen von der Erzeugung der Fähigkeit, sie nachher vorzustellen. Diese erworbene Fähigkeit bleibt aber während der Beobachtung des Vorganges durchaus latent.

Es wüßte bereits gesagt, daß das Denken Begriffe und Ideen zu dem Beobachteten hinzubringt. Die Begriffe können nicht aus der Beobachtung gewonnen werden, sondern nur an der Beobachtung. Sie sind durchaus Ergebnisse ureigenster Tätigkeit. Jedem kann seinerzeit der Lehrer bemüht war, irgendeine mathematische Funktion verständlich zu machen. Alle Beispiele, die er vorbrachte, dienten nur dazu, auf die in ihnen verborgene Idee hinzuweisen. Das angestrengte Denken über diese konkreten Beispiele führte dann das Verständnis herbei, welches in dem Moment aufleuchtete, wo die Idee erföhrt wurde, indem sie, gedanklich mit dem gegebenen Exempel vereinigt, dieses dadurch „klar“ werden ließ.

Die Idee selber kann nicht übermittelt werden, sie muß stets durch eigene Anstrengung erungen werden. Worte können lediglich auf Begriffe und Ideen hinweisen. Auch die Hegelschen Definitionen sind nur Hinweise auf das, was ein Begriff ist. Ich kann beispielsweise jemand auf den Begriff „Motor“ hinweisen und ihm so zu einer intellektuellen Anschauung des Begriffs verhelfen, ohne daß der Betreffende jemals einen Motor wahrgenommen zu haben braucht. Denn der Begriff „Motor“ kann, aber muß nicht durch die Wahrnehmung gebildet werden. Es ist unrichtig, den Begriff „Motor“ als die verschwommene, undeutlich umrissene Summe von erinnerten Merkmalen vieler Motorwahrnehmungen aufzufassen. Der Begriff ist eine Totalität. Ideen sind von Begriffen nur qualitativ verschieden; — sie sind inhaltvoller, umfangreicher.

Wie nun die durch das Denken hergehobten Begriffe und Ideen wirken, kann folgender Versuch verdeutlichen: Angenommen, es liege mir ein schwer verständliches Buch vor, dessen Inhalt ich noch nicht kenne. Der Sinn eines Abschnittes ist mir beim ersten Durchlesen nicht aufgegangen. Ich lese also, meine ganze Aufmerksamkeit immer auf den Inhalt des Satzes gerichtet (also nicht in unterbrochener Folge auf meine Denktätigkeit) den Abschnitt wiederholt durch. Zuletzt merke ich, was der Autor sagen will, und bei nochmaligem Durchlesen wird mir der Sinn des Satzes restlos verständlich. Wie der Sinn in meinem Kopfe zustandekommen ist, konnte ich bei meiner angestrengten, ununterbrochenen auf das Objekt gerichteten Tätigkeit nicht beobachten. Diesem Vorgang kann ich die Spur kommen, wenn ich bei einem schwer verständlichen Abschnitt bei den Interpunktionszeichen in der geistigen Tätigkeit des Erfassenwollens innehalte und den jeweils gewonnenen Bewußtseinsinhalt überschau. Ich werde dann finden, wie sich an die innerlich vernommenen Wortklänge (also an Wahrnehmungen) durch das Denken Begriffe anschließen, und zwar zunächst an die Verben und an die Substantiva.

Diese durch Begriffe umspielten Wortklänge haben sich aus dem, dem Sinne nach noch verschwommenen Satzgefüge vergleichsweise wie Bergspitzen hervor, die aus einem Wolkenneer auftauchen. Als bald spinnen sich aber Beziehungen zwischen den Begriffen an. Bei wiederholtem Lesen werden diese Beziehungen zu Erkenntnissen, denen sich alsbald die bis dahin noch unverständlich gebliebenen Satzteile anfügen und gleichzeitig verständlich werden. Die Aufhebung der bisher verschleierte Parteien — um im Bilde zu bleiben — geschieht nun lediglich durch das Gewahrwerden, wie sich die Beziehungen von Begriff zu Begriff gestalten.

### 3.2 Großes „Gewerf“ (um 1405), Tafel 3.2/1

Derartige Maschinen wurden bei der Belagerung von befestigten Anlagen eingesetzt. Man bezeichnete sie damals als Bliden oder Gewerfe. Nach heutigem Sprachgebrauch waren es Wurfmaschinen oder Steinschleuder-Maschinen. Die Darstellung zeigt eine stationäre Maschine. Wurfmaschinen gab es auch verfahrbar. Sie waren dann mit vier hölzernen, nicht lenkbaren Rädern ausgestattet. Die tragenden Teile der Maschine waren vollständig aus Holz. Nur die Lagerung des Wurfarms und die des Gegengewichts (und ggf. der Radachsen) bestanden aus Eisen.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler

Die Abbildung stammt aus der um 1405 herausgegebenen Bilderschrift „Bellifortis“ von Konrad Kyeser von Eichstädt.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Die Darstellung ist auf Papier gezeichnet. Die linearen Umrisslinien der Bauteile sind mit einem Stift vorgezeichnet worden. Die gesamte Maschine ist detailliert konstruiert. Die Flächen der Bauteile sind mehrfarbige ausgearbeitet.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die Maschine schleuderte schwere Steinkugeln über größere Entfernungen z.B. gegen Befestigungsmauern. Die Zerstörungswirkung auf das Mauerwerk war beträchtlich. Die Maschine ist in der gespannten Stellung, fertig zum Wurf, gezeichnet. Am kurzen Ende des zweiarmigen Wurfhebels ist rechts ein Behältnis für den Gewichtsballast schwenkbar angeordnet. Links, am langen Ende, ist ein Seil, etwa so lang wie der Wurfarm, befestigt. Am Seilende liegt die Ledertasche für die Wurfsteine. Die Tasche mit dem Wurfstein war am Anfang des Wurfvorgangs in einer Rinne geführt. In der Ruhestellung stand der Wurfarm durch die Gewichtsbelastung senkrecht. Er musste mit der Handwinde, vorne links dargestellt, herabgezogen und in dieser Stellung verriegelt werden. Dann wurde die Ledertasche nach vorne in die Rinne gezogen und ein Wurfstein eingelegt. Nach dem Auslösen der Maschine drehte sich durch die Gewichtsbelastung der Wurfarm in die Senkrechte und der Stein wurde mit großer Wucht in die vorgesehene Richtung geschleudert.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Wurfmaschinen als Kriegswaffen gab es schon im Altertum. In römischer Zeit wurden schon große Maschinen bei Belagerungen eingesetzt. Die dargestellte Maschine mit mauerbrechender Wirkung kam vom 13. Jahrhundert bis ins 15. Jahrhundert in Mitteleuropa zum Einsatz. Von den überwiegend aus Holz gefertigten Maschinen ist keine erhalten geblieben. Die Physik der dargestellten Wurfmaschine ist ausgefallen. Während ältere Maschinen nur die Schleudwirkung des hochschnellenden Wurfarms nutzten, ist bei dieser Maschine ein kombiniertes Prinzip zugrunde gelegt worden, und zwar das Prinzip „langer Hebel (Wurfarm) und das Prinzip „Peitsche“. Das am Wurfarm angebrachte Seil mit der Wurfmaschine vergrößerte die Hebelwirkung des Arms und sorgte für eine effektive Ausnutzung der Bewegungsenergie. Der Wurfstein wurde zu Beginn des Bewegungsablaufs entgegen der vorgesehenen Schleuderrichtung bewegt und erst bei höher stehendem Wurfarm in die Zielrichtung umgelenkt (Prinzip der Peitsche). Das Wurfgeschoss erreichte dadurch eine deutlich größere Wurfweite und Wirkung.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Darstellung ist in anschaulicher Manier gezeichnet, bei den meisten Elementen als schiefe Parallelprojektion. Es ist keine Perspektive (Zentralprojektion), da die Fluchtpunkte fehlen bzw. die konstruierbaren Fluchtpunkte beliebig streuen. Die Wurfmaschine steht auf dem Boden, aber nicht an einem voraussichtlichen Einsatzort. Der Hintergrund ist durch ein Tuch oder einen Teppich mit Ornamenten bewusst verdeckt. Diese Art der Hintergrundzeichnung wurde aus der „klassischen Zeichenkunst“ übernommen. Sie entsprach dem Stil der Zeit.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Maschine ist sorgfältig konstruiert, vorgezeichnet und anschließend koloriert. Die Farben sind, mit sehr geringer Lavierung, den unterschiedlichen Materialien entsprechend gewählt worden. Die räumliche Darstellung wird durch das Setzen von Schatten unterstützt. Die Funktion ist eindeutig aus der Zeichnung zu erkennen. Die Zeichnung weist eine Besonderheit auf. Einige Hauptmaße sind direkt auf den Teilen vermerkt worden. Damit sind die Größenverhältnisse abschätzbar. Die Maßangaben lassen einen gewissen Bezug zum Zweck der Zeichnung erkennen. Die Darstellung ist sicherlich keine konstruktive Zeichnung zur Anfertigung der Wurfmaschine. Aber durch die sorgfältige Darstellung der Funktion und Angabe einiger Größen konnten versierte Handwerker sie ggf. als Grundlage verwenden.

#### Bemerkung:

Das folgende Bild zeigt eine Blide etwas anderer Konstruktion beim Wurfvorgang. Die Maschine war verfahrbar. Beim Wurfvorgang wurden die Räder hochgesetzt. Die szenische Darstellung zeigt die Belagerung einer Befestigungsanlage. Sie stammt aus dem Willehalm-Kodex (um 1350).

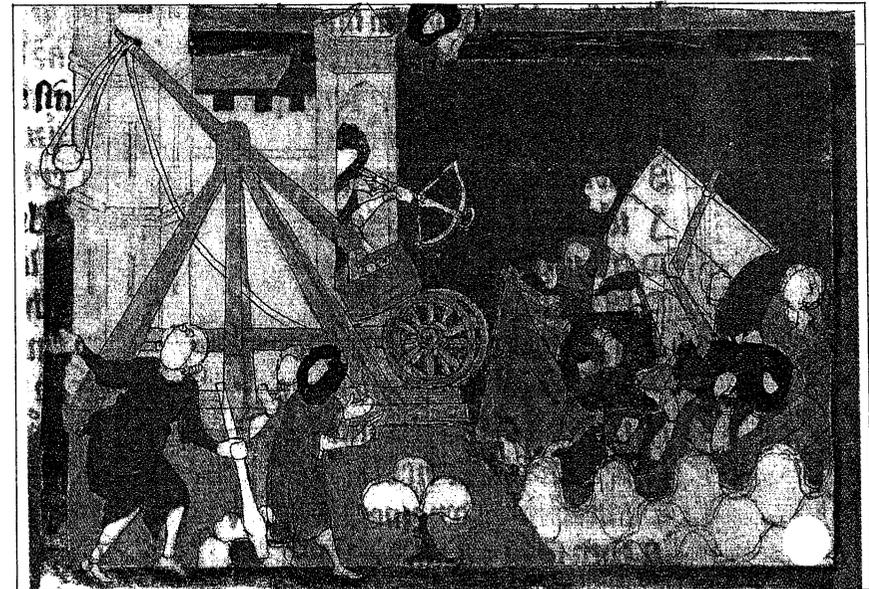
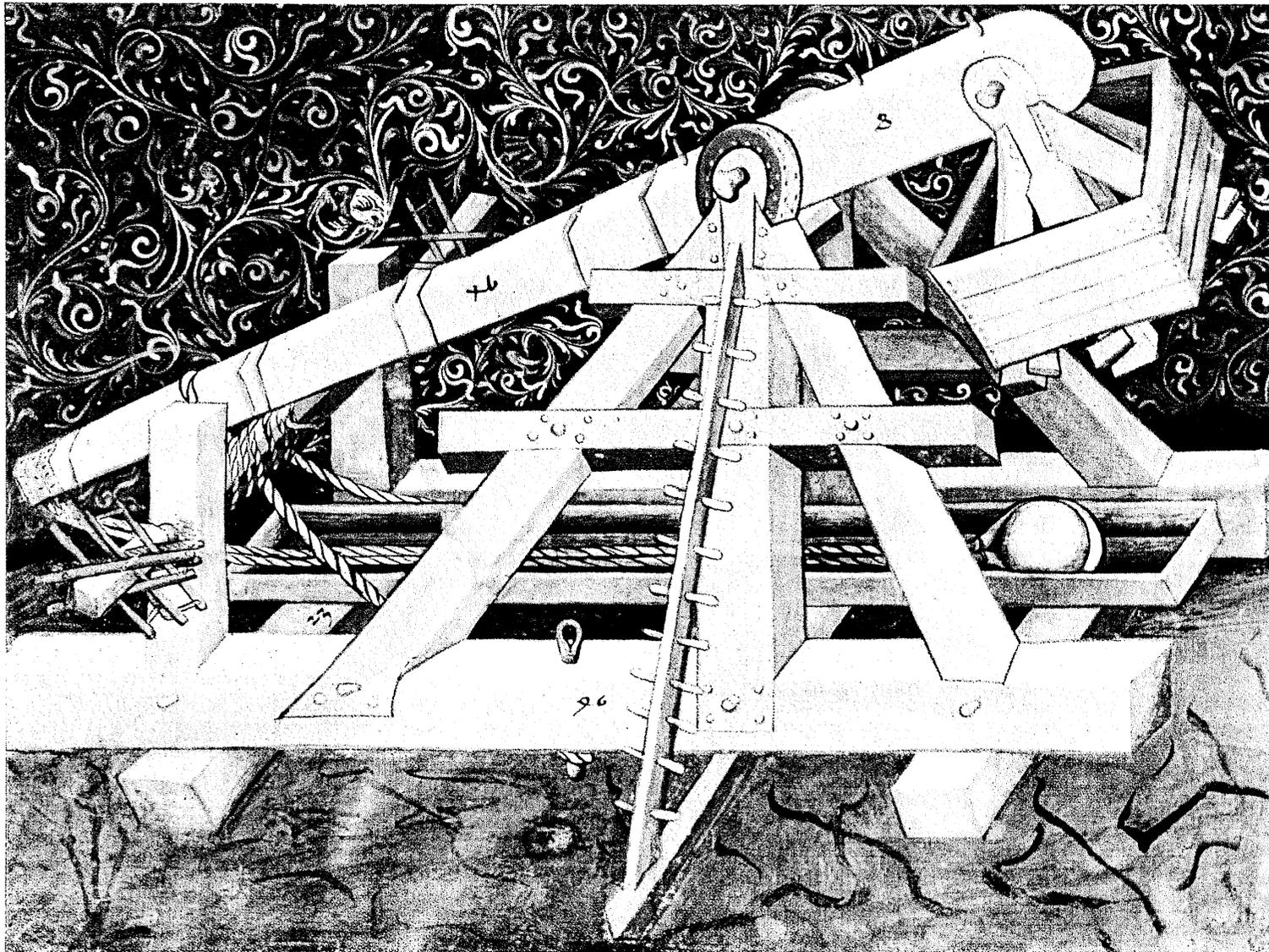


Bild 3.2/1: Blide beim Schleudern eines Steins (um 1350)

#### Bemerkung:

Von den Wurfmaschinen ist keine erhalten geblieben, aber von den Wurfsteinen gibt es noch einige. Sie sind z.T. in Mauern verbaut worden oder auf Mauern oder Zinnen als Verzierungen zu sehen. Es sind kugelförmige, gut behauene Steine aus harten Materialien. Meist wurden regional vorhandene Steine benutzt. Sie wurden quasi serienmäßig mit Hilfe von hölzernen Schablonen in gleicher Größe hergestellt. Es gab auch Blidensteine mit leichten Abflachungen. Das sollte ein Wegrollen beim Spannen der Schleuder verhindern. Die Größe (und damit das Gewicht) der Steine richteten sich nach der Konstruktion und dem Leistungsvermögen der Wurfmaschine. Natürlich spielte auch die Entfernung zum Ziel eine Rolle. Es sind Blidensteine mit einem Gewicht von 10 kp bis zu dem beachtlichen Gewicht von 120 kp gefunden worden.

Es bleibt noch nachzutragen, dass man mit diesen Wurfmaschinen alles „werfen“ konnte was verfügbar war. Und davon wurde fantasievoll und reichlich Gebrauch gemacht. Als Wurfgeschosse kamen zum Einsatz: brennendes Holz, mit Exkrementen gefüllte Fässer, verwesende Tiere, gefallene Feinde usw.



Tafel 3.2/1: Zeichnung eines großen „Gewerfs“ (Wurfmaschine, Blide)  
(um 1405)

### 3.3a. Turmwindmühle (um 1460), Tafel 3.3a/1

Die Zeichnung der Mühle wurde von Francesco di Giorgio Martini angefertigt. Martini war Architekt, Erfinder und Maler und lebte von 1439 bis 1501 in Italien, überwiegend in Siena. Seine Schaffenszeit lag etwas vor der von Leonardo da Vinci. Die Zeichnung der Turmwindmühle ist in mehrerlei Hinsicht bemerkenswert: sie zeigt einen neuen Windmühlentyp und sie ist, unter Berücksichtigung der Zeit der Anfertigung, außerordentlich detailliert und funktional exakt. Die Zeichnung ist in anschaulicher Manier angefertigt worden, als frei gezeichnete Perspektive. Die prinzipielle Bauart der Mühle gibt es heute noch. Allerdings mit anderer Anströmung des Windrades.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler

Die Zeichnung (Skizze) wurde als einzelnes Blatt vermutlich um 1460 angefertigt. Das genaue Jahr ist nicht bekannt. Zweck der Zeichnung war es, den komplizierten Mechanismus des Mühlenantriebs verständlich zu machen.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Die Skizze ist mit einem Stift auf Papier gezeichnet worden. Die Anfertigung ist sehr sorgfältig und detailliert vorgenommen worden.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Bei den frühen Turmwindmühlen war die Ausführung des „in den Wind zu drehenden Teils“ der Mühle ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal. Bei einfachen Mühlen war kein „drehendes Teil“ vorhanden. Die Position der Achse des Flügelrades war im Turm fest. Bei vorherrschendem Wind aus einer Richtung war ein Nachführen des Flügelrades nicht erforderlich. Der Großteil der Mühlen wurde aber in Bereichen mit wechselnden Windrichtungen eingesetzt und ein Nachführen des Flügelrades war unumgänglich. Bei diesen „Nachführmühlen“ unterscheidet man vier Bauarten:

1. Die Basis der Mühle war ein gemauerter Turm. Die oberste Etage, das Turmhaus, mit dem Räderwerk und der Dachhaube konnte auf dem Turm in wechselnde Windrichtungen gedreht werden. Die Welle des Flügelrades lag horizontal oder leicht schräg.
2. Die Basis der Mühle war ein gemauerter Turm. Nur die konische Dachhaube mit der meist horizontalen Flügelwelle konnte gedreht werden. Man bezeichnet diesen Typ auch als niederländische Mühle.
3. Die Basis der Mühle war eine zentrale Holzkonstruktion (Mühlenbock). Die gesamte Mühle mit dem Mühlenhaus und dem Turmaufbau mit Dach wurde in den Wind geschwenkt. Die Welle des Flügelrades lag zumeist horizontal. Geschwenkt wurde mit Hilfe eines langen „Auslegers“, der auch zum Festsetzen der Position genutzt wurde.
4. Die Basis der Mühle war meist ein gemauerter Turm. Die Hauptachse war senkrecht. Ein „Windrotor“ auf dem Turm lieferte die Antriebsenergie für die Mühle. Ein kompliziertes Räderwerk zur Übertragung der Energie auf das Mahlwerk war im Allgemeinen nicht notwendig. Der Wirkungsgrad der Mühle war durch den „Windrotor“ allerdings gering.

Die Turmwindmühle von Martini gehörte zur ersten Bauart. Sie war im Mittelmeerraum verbreitet. Ab wann ist nicht genau bekannt. Eine der Besonderheiten war die Lagerung des runden Turmhauses. Üblich war eine Gleitlagerung „Holz auf Holz“ mit einer Schmierung durch tierische oder pflanzliche Fette. Die Konstruktion von Martini sah eine doppelte Wälzlagerung vor. Das Gewicht des Turmhauses sollte durch hölzerne Rollen aus Hartholz aufgenommen werden, die auf einer Hartholzbahn auf dem Mauerkranz liefen. Ein weiterer Rollensatz war am Außenrand des Turmhauses zur Aufnahme der Querbelastungen angeordnet. Die Stellung des Oberteils konnte durch das Einstecken eines Pflocks in einen vorgebohrten Lochkranz fixiert werden. In der Skizze, rechts außen, ist die Verriegelung angedeutet. Das Räderwerk der Mühle ist präzise gezeichnet. Die schweren Mahlwerke lagen unten im Turm. Die Läufersteine wurden von oben durch eine durchgehende Welle

angetrieben. Der Turmaufbau konnte vermutlich mit Hilfe eines kleinen Nebenantriebs nachgeführt werden. Eine Vorrichtung zur Abbremsung der Flügelradwelle oder deren Festsetzung ist nicht erkennbar. Außergewöhnlich ist die Ausführung des „Flügelrades“. Den Antrieb der Mühle sollte ein „Schaufelrad“ übernehmen. Die seitliche Anströmung und die Form der „Schaufeln“ waren allerdings sehr ungünstig.

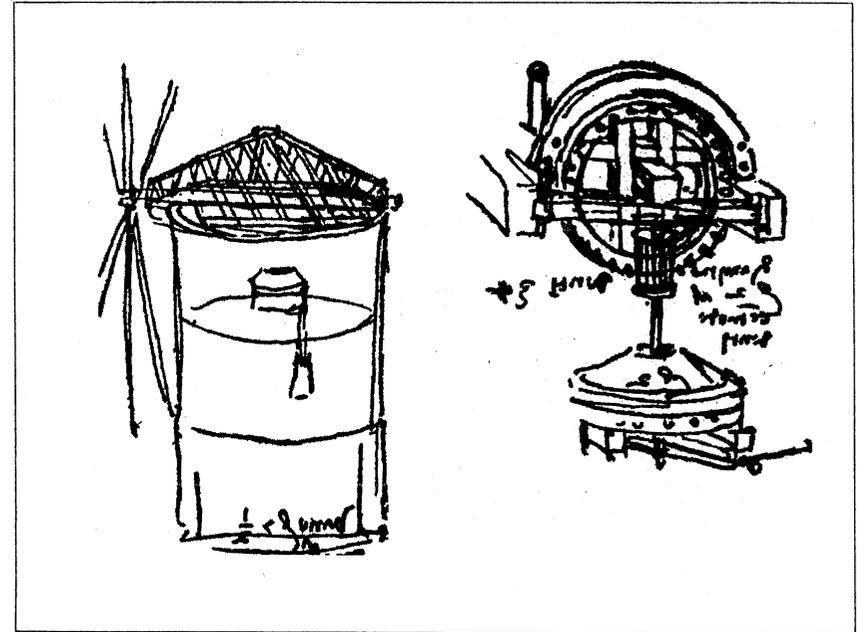


Bild 3.3a/1: Skizze einer vertikalen Turmwindmühle (Ausschnitt) nach Bauart 2 von Leonardo da Vinci (um 1500)

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

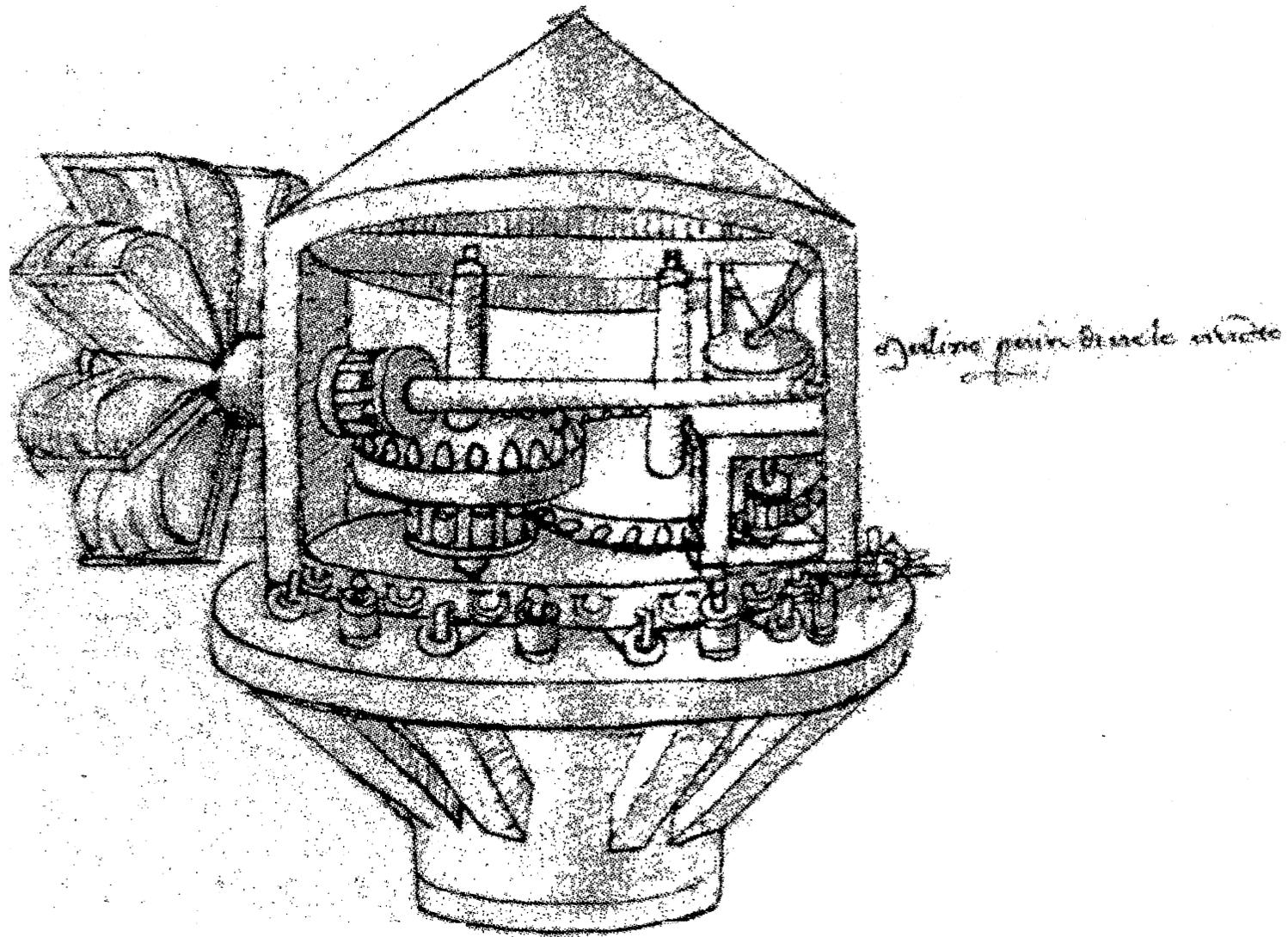
Die Turmwindmühlen dieser Bauart gehörten zu den ersten, die die schwierige Nachführung des Flügelrades in den Wind ermöglichten. Der Zeitpunkt ihrer Einführung ist nicht bekannt. Erste Hinweise findet man in Darstellungen aus dem 14. Jahrhundert. Die Mühle von Martini ist wegen ihrer Wälzlagerungen der besonders kritischen und hoch beanspruchten Partien eine herausragende Innovation.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Skizze ist in freier „Perspektive“ mit einem Fluchtpunkt (Zentralperspektive) gezeichnet. Nicht alle Konstruktionslinien (Sehstrahlen) sind exakt. Die Horizontlinie liegt etwa in der Achse der Flügelwelle. Die Wahl dieser Darstellungsart erlaubt die Funktionen bestmöglich zeichnerisch darzustellen.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Der verwendete Zeichenstift, vermutlich ein Silberstift oder eine feine Graphitmine mit Handhabe, gestattete das Zeichnen feiner Linien in gleichmäßiger Strichstärke. Die Bauteile sind durch leichten Einsatz von Zeichenkohle hervorgehoben. Schattierungen und Lavierungen sind punktuell eingesetzt worden, aber nicht systematisch.



Tafel 3.3a/1: Zeichnung einer Turmwindmühle mit „Schaufelrad“  
(um 1460)

### 3.5 Fahrrad mit Tretkurbelantrieb (um 1480), Tafel 3.5/1

Die Darstellung stammt ebenfalls von Leonardo da Vinci. Überraschend an diesem Einspurfahrzeug ist, dass ein derartiges Konzept in der Zeit überhaupt „gedacht“ werden konnte. Die Bewegung der Beine sollte mit Hilfe eines Kurbeltriebs und einer „Kette“ auf das hintere Rad übertragen werden. Das vordere Rad wurde gelenkt. Darüber hinaus enthält das Konzept noch eine Vielzahl anderer Innovationen. Erst 300 Jahre später war man technisch in der Lage, dieses Konzept fertigungstechnisch umzusetzen.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler

Das Blatt stammt aus einer Handschrift oder einem der Skizzenbücher des Künstlers. Die Skizze wurde um 1480 gezeichnet.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Bildgrund ist Pergament oder Papier. Schnell angefertigte Freihandskizze. Gezeichnet mit Kohle, Tusche und Feder.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die Darstellung zeigt ein „Fahrrad“, das in ähnlicher Form noch heute gebräuchlich ist. Nicht alle Funktionen, die zum Fahren notwendig sind, sind im Detail gezeichnet. Eindeutig ist die Lage des Sitzes des Fahrers hinten, über dem Hinterrad, zu erkennen. Der Sitz stützt sich an der Achse des Hinterrades und in der Mitte am Lager der Tretkurbel ab. Das vordere Rad ist lenkbar. Erkennbar ist eine hochgezogene Lenkstange (Lenker), die über Abstützungen mit der Achse des Vorderrades verbunden ist. Vermutlich war eine horizontal liegende, schwenkbare Gabelführung des Vorderrades vorgesehen. Dafür spricht auch die Andeutung des „liegenden“ Rahmens ohne Verstrebung nach oben. Das „Fahrrad“ hatte einen Pedalantrieb mit Tretkurbel in der Mitte. Das hintere Rad wurde durch ein Zugmittel angetrieben. Die Art des Zugmittels (Seil, Riemen, Gliederkette) ist nicht genau erkennbar. Vermutlich hatte da Vinci an eine Gliederkette gedacht. An der hinteren Achse sind einige „zahnartige“ Kerben erkennbar. In seinem Skizzenbuch findet man die Zeichnung einer entsprechenden Kettenkonstruktion. Überraschend ist ferner, dass da Vinci eine Untersetzung zwischen dem „Kettenrad“ an der Tretkurbel und dem „Ritzel“ an der hinteren Achse vorgesehen hatte. Es ist unwahrscheinlich, dass da Vinci den Antrieb berechnet hat. Die Auslegung wurde intuitiv richtig gezeichnet. Sie entspricht im Prinzip der von heutigen Fahrrädern. Neuartig war auch die angedeutete Ausführung der beiden, gleich großen Räder. Es waren Speichenräder mit einer Vielzahl filigraner Speichen.

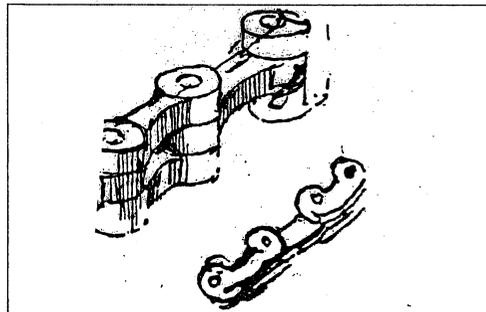


Bild 3.5/1:  
Skizze einer Gliederkette  
von Leonardo da Vinci  
(um 1450)

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Im 15. Jahrhundert waren einspurige „Maschinen“ mit einem Rad als Schub- oder Zugkarren zum Transport von Lasten bekannt. Ferner zweispurige Wagen mit drei oder vier Rädern, die mit Muskelkraft bewegt werden konnten, beispielsweise der um 1420 erfundene Wagen des Giovanni da Fontana. Darstellungen von einspurigen „Maschinen“ mit zwei Rädern aus der Zeit sind bisher nicht gefunden worden, weder für den Transport von Lasten noch für die

Beförderung von Personen. Die Skizze zeigt wahrscheinlich die Erfindung des modernen Fahrrads. Absolut erstaunlich ist die Idee, ein Muskelkraftfahrzeug, statt wie bekannt, indirekt mit den Händen, indirekt mit den Beinen anzutreiben. Die „Laufmaschine“ des Carl Drais von Sauerbronn (1785 bis 1851) wurde 1817 vorgeführt und 1818 patentiert. Sie hatte keinen Antrieb, der Fahrer saß auf der Maschine und lief dabei. Den Ersatz der direkten Beinbewegung durch einen Kurbelmechanismus „erfand“ 1853 der Instrumentenbauer Fischer aus Schweinfurt. Die Tretkurbel war bei ihm noch direkt (ohne Untersetzung) am Vorderrad befestigt. Ab 1861 wurde diese Konstruktion unter der Bezeichnung „Michaux-Rad oder Michauline“ in größeren Stückzahlen als sogenanntes „Niederrad“ hergestellt. Danach wurden „Hochräder“ gebaut, ebenfalls mit direktem Kurbelantrieb des großen Vorderrades. 1869 wurde der Tretkurbelantrieb mit Kette zum Hinterrad von dem Franzosen Guilmet „erfunden“. In England nahmen Starley & Sutton ab 1885 die Serienfertigung des Niederrades mit Kettenantrieb des Hinterrades auf.

Dieser kurze geschichtliche Abriss zeigt, dass die Mehrfacherfindung nicht die Ausnahme, sondern in der Geschichte der Technik häufiger vorkommen kann. Jede Innovation hat ihren Anfang selten in einem einzigen, zeitlich fixierbaren Ereignis. Es sind Zeiträume mit vielen Akteuren, in denen Erfindungen Gestalt annehmen.

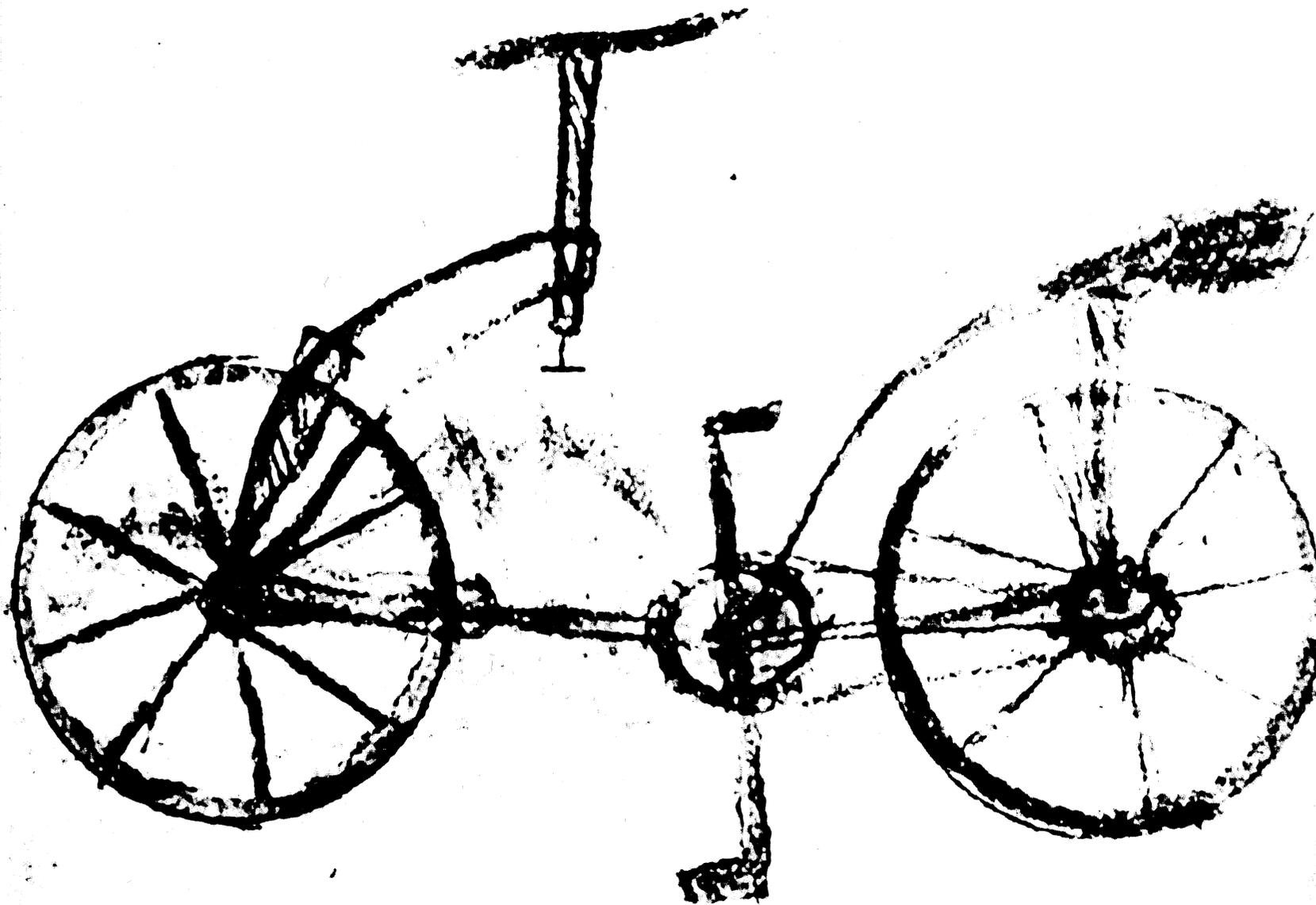
Technikgeschichtlich bemerkenswert ist neben dem Fahrzeugkonzept und dem Antrieb die Konstruktion der Räder. Die gezeichneten Speichen sind sehr filigran. Derartige Speichen können nicht, wie bei üblichen Rädern, auf „Druck“ belastet werden. Da Vinci hat u.U. die Konstruktion moderner „Zugspeichenräder“ vorweg genommen.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Das „Fahrrad“ ist in einer Ansicht gezeichnet, und zwar als Parallelprojektion in einem „Aufriß“ (Vorderansicht). Das entspricht einer modernen technischen Skizze. Die Ausführung des Antriebs mit Tretkurbel in der Mitte und Übertragung der Bewegung auf das Hinterrad sind eindeutig dargestellt. Unvollständig sind die Rahmenausführung des „Fahrrades“ und der Lenkmechanismus des Vorderrades gezeichnet.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Skizze des „Fahrrades“ ist von Hand frei gezeichnet, vermutlich sehr rasch. Gezeichnet wurden mit Kohle und Tusche auf Papier, einige Details vermutlich mit der Feder. Die Skizze ist direkt gezeichnet worden. Spuren einer Vorzeichnung sind nicht zu erkennen. Evtl. wurde die Kreisform der Räder mit einem einfachen Hilfsmittel vorgezeichnet.



Tafel 3.5/1: Zeichnung eines Fahrrades mit Tretkurbelantrieb  
(um 1480)

### 3.7 Drehbank zum Drechseln elliptischer Teile (um 1565), Tafel 3.7/1

Die Drehbearbeitung von Holz war im 16. Jahrhundert weit entwickelt. Neben den einfachen Drechselbänken mit handgeführtem Werkzeug hatte man auch spezielle Drehbänke für das Arbeiten nach Schablonen, für das Schneiden von Gewinden, für das elliptische Drechseln u.a.m. entwickelt. Die Antriebsenergie für die Maschinen lieferte in der Regel der Mensch. Göpel- oder Wasserkraftantriebe waren selten. Bei dem Antrieb durch Menschen gab es zwei Möglichkeiten, entweder wurde eine zusätzliche Person beauftragt, kontinuierlich eine Rotationsbewegung zu erzeugen, oder die Energie wurde von dem Drechsler selbst erzeugt. Für den ersten Fall stand eine besondere Gruppe an Tagelöhnern zur Verfügung, die „Leyrendreher“ (daher die umgangssprachliche Bezeichnung „leiern“, „herunterleiern“ u.ä. für immer wiederkehrende Tätigkeiten). Im zweiten Fall wurde die Drehbewegung üblicherweise durch Fußwippen und Kurbelmechanismus erzeugt. In dem hier behandelten Beispiel wird zur Unterstützung ein starker Bogen eingesetzt. Die Drehbewegung war dann abwechselnd links-rechts. Derartige Anwendungen waren üblich. Man nannte die Maschinen „Fitzelbänke“.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler

Eine Sammlung einzelner Blätter mit technischen Maschinen wurde um 1565 Maximilian I von den Tiroler Landständen geschenkt.

Das Bild ist Teil einer privaten Sammlung einzelner Blätter. Der Künstler ist nicht bekannt.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Genauere Vorzeichnung. Kupferstich auf Papier.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Von der Fußwippe geht das Antriebsseil über die Antriebsrolle zur Sehne des eisernen Bogens an der Werkstattdecke. Wenn auf den Wippbalken nach unten getreten wird, dreht sich das Werkstück und der Bogen oben wird gespannt. Wenn keine Kraft auf den Wippbalken ausgeübt wird, zieht die Spannkraft des Bogens die Wippe wieder nach oben und das Werkstück wird in der anderen Richtung in Drehung versetzt (den Vorgang nannte man „fitzeln“). Das Werkzeug wird zwar noch von Hand gehalten, aber in dem Schlitz einer auswechselbaren Schablone geführt. Die wellenförmige Form des Schlitzes entspricht der äußeren Form des Werkstücks. Dieser Hauptbewegung ist eine zweite überlagert. Gleichzeitig wird die Schablone nämlich durch die beiden auf der Drehachse befestigten „Taumelscheiben“ je Umdrehung einmal auf und ab bewegt. Beide Bewegungen sind fest gekoppelt. Dadurch wird die Bearbeitung einer elliptischen Form möglich. Wie in der Tafel dargestellt, können auch „Taumelscheiben“ mit unterschiedlichen Durchmessern eingesetzt werden. Die Kontur des Teils wird dann kegelig. Diese Anordnung ist links gezeichnet. Die Neigung der Taumelscheiben ist einstellbar.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Beim Antrieb der Drechselbank durch eine einfache Fußwippe konnte nur die nach unten gerichtete Kraft des Beins genutzt werden. Bei „Fitzelbänken“ wurde durch die Beinkraft zum einen die Drehbewegung in einer Richtung erzeugt und zum anderen der Bogen gespannt. Der Bogen erzeugte durch seine Spannkraft (Zugkraft), wenn das Bein im „Leergang“ nach oben gehoben wurde, eine Drehbewegung in der anderen Richtung. Der Bearbeitungsablauf war bei entsprechender Werkzeuggeometrie durch die fast ununterbrochen wirkenden Kräfte effektiver und das Bearbeitungsergebnis von besserer Qualität. Fitzelbänke konnten auch im „unterbrochenen Schnitt“ betrieben werden. Die Kraft des Bogens diente dann nur zum Zurückholen der Fußwippe.

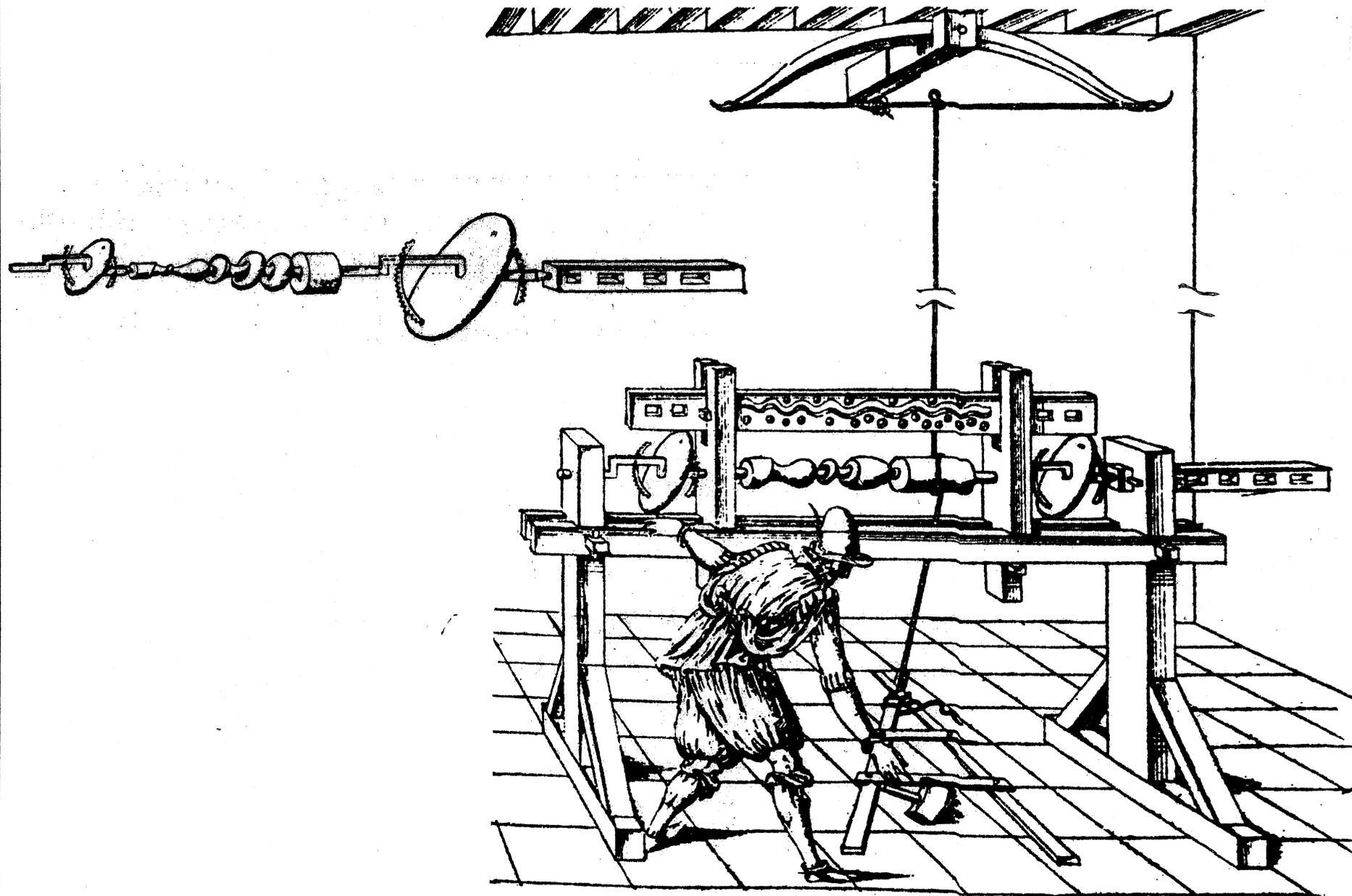
#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Das Bild ist eine gute Zentralprojektion mit einem Fluchtpunkt. Die Bildebene liegt fast parallel zum Objekt. Die Funktionen sind vollständig dargestellt. Die Proportionen der

Maschine sind stimmig. Einzig die Größe der Arbeitsperson im Vordergrund passt nicht zur Größe der Maschine.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Kupferstich für ein Einzelblatt einer Bilderhandschrift. Vermutlich nicht als konstruktive Zeichnung, sondern als Illustration vorgesehen. Mit den üblichen Werkzeugen gestochen, nach genauer Vorzeichnung der Perspektive und des Objekts. Es sind diverse Hilfsmittel verwendet worden (Lineale, Winkel etc.). Die Person im Vordergrund fällt aus der exakten Darstellung heraus. Sie ist in freier Manier gestochen und viel zu klein.



Tafel 3.7/1: Drechselbank für elliptische Teile  
(um 1565)

### 3.8 Maschine zum Ziehen sehr schwerer Lasten (um 1620), Tafel 3.8/1

Wenn die direkte Kraft von Zugtieren zum Bewegen sehr großer Lasten nicht ausreichte, setzte man im 17. und 18. Jahrhundert mechanische Hilfsmittel ein. Das konnten einfache oder mehrfache Hebelmechanismen, Keil-Mechanismen, Flaschenzüge u.a.m. sein. Das gezeigte Beispiel einer „Zugmaschine“ zum Bewegen sehr schwerer Lasten besaß mehrere Flaschenzüge und Rädergetriebe. Die technische Komplexität war sehr hoch.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung

Die Zeichnung wurde der Bilderschrift „Schatzkammer mechanischer Künste“ entnommen. Das umfangreiche Werk wurde von dem Ingenieur und Kunstmeister Augustini de Ramellis verfasst. Er brachte das Werk 1620 heraus.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Holzstich, Signatur des Stiches „A B“. Der Name des Künstlers ist nicht bekannt.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die Maschine kombiniert die Wirkung von Rädergetrieben, Schneckengetrieben, mehreren Winden und Flaschenzügen. Der Antrieb erfolgte durch eine Person mit einer Handkurbel. Die erste Untersetzung übernahm das Räderpaar A und B. Die Schneckenwelle C trieb die Schneckenräder D und E an, deren Achsen zwei Winden F und G mit senkrechter Achse trugen. Auf dieser Achse waren auch die Kammräder H und I angebracht, die das doppelte Kammräder K in der Mitte antrieben. Auf der Achse des Kammrades K waren wieder zwei Windentrommeln befestigt. Durch die gekoppelten Zahnradgetriebe zogen alle Züge gleichzeitig, sehr langsam, aber mit großer Kraft. Die Last wird über ausgelegte Balken gezogen. Zur Verminderung der Reibung sind Rollhölzer untergelegt. Nach kurzer Zugstrecke musste die gesamte Maschinerie versetzt werden.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Das Bewegen von Lasten, die über die Nutzlast stabiler Rollwagen hinausging, war ein großes Problem. Man nahm daher den hohen Aufwand und die Zeit in Kauf, die die Arbeit mit ähnlichen „Zugmaschinen“ erforderte. Es gibt eine Vielzahl an Beschreibungen ähnlicher Maschinen. Die dargestellte Maschine ist aufgenommen worden, weil sie mechanisch außerordentlich aufwendig war. Mechanisch kann die Maschine zwar ihre Funktion erfüllen, energetisch nicht. Bei den vielen Getrieben, Lagerstellen und Rollen war mit einer Person zur Betätigung keine Nutzwirkung zu erzielen. Es handelt sich eher um eine hoch interessante mechanische Spielerei. In den Bildhandschriften der Zeit findet man eine Vielzahl derartiger Mechanismen. Sie wurden gelesen wie Bilderrätsel, mit Freude am Verstehen komplizierter mechanischer Effekte.

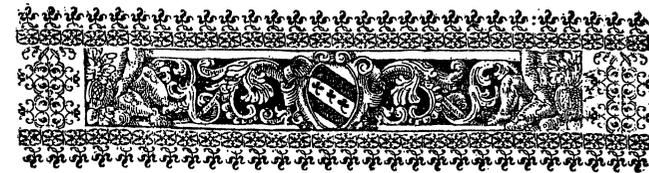
#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Zeichnung ist näherungsweise als Zentralprojektion mit einem Fluchtpunkt angelegt. Die Frontlinien laufen fast horizontal. Die Funktionen sind differenziert dargestellt und vollständig erkennbar. Etwas erhöht und um 90° gedreht ist der verdeckte Hauptteil des Getriebes separat dargestellt. Die gesonderte Darstellung sollte das Verständnis unterstützen.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Das Blatt ist als Holzstich auf Papier gedruckt worden. Der Stich ist sehr sorgfältig und detailreich gearbeitet. Die Motive im Hintergrund weisen auf das Anliegen des Herausgebers hin, die Maschine in Gebrauch zu zeigen. Die Zeichnung diente trotz dieses Motivs ausschließlich zur Erbauung und der gedanklichen Übung. Als Vorlage zur Realisierung des dargestellten Objekts war sie nicht gedacht. Die Darstellung wird durch eine umfangreiche textliche Erläuterung ergänzt. Zur Verbindung von Zeichnung und Text sind Buchstaben verwendet worden.

## Mechanischer Künste.



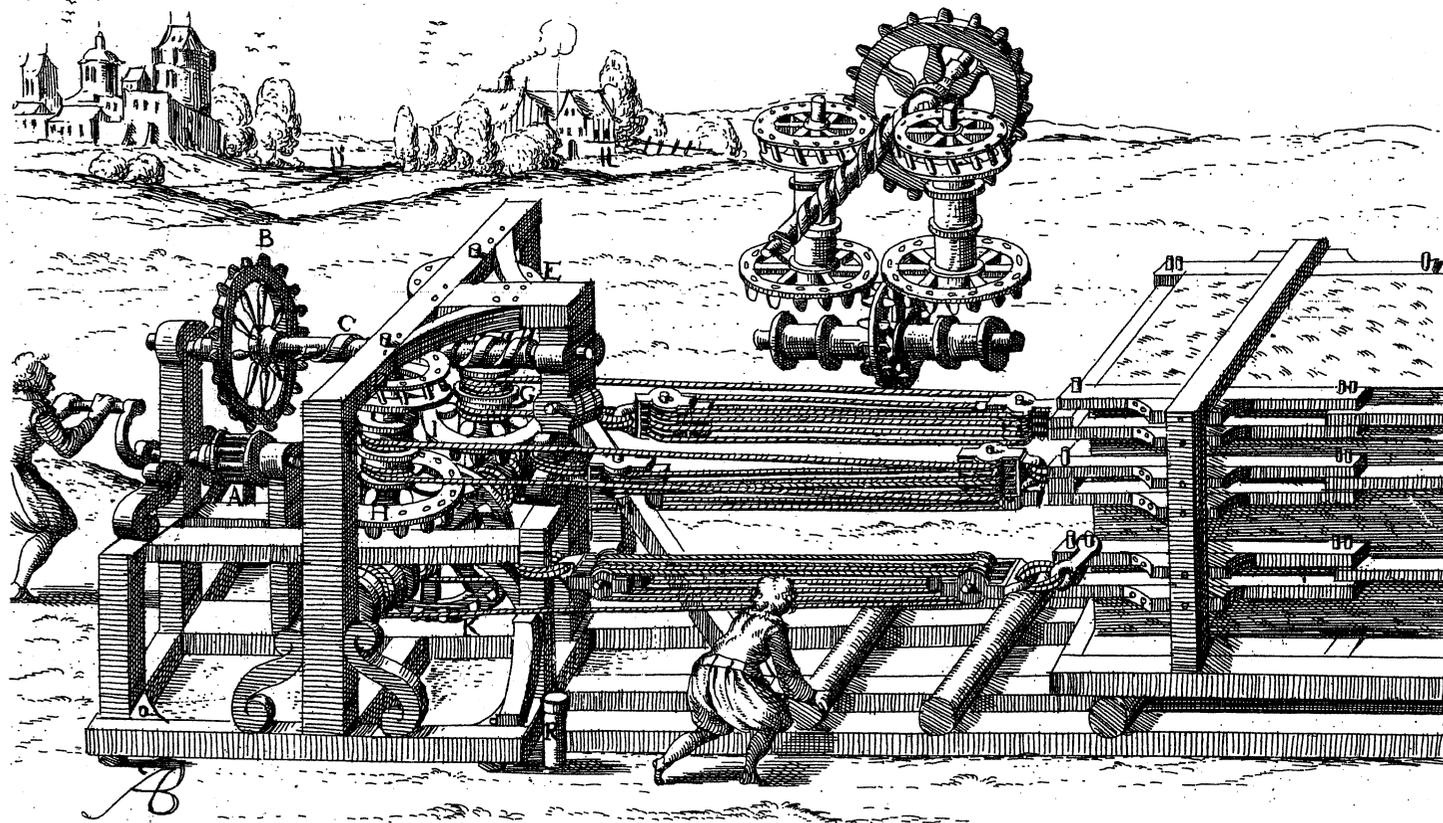
### Das hundert vnd sechste Capitel.

Dieses ist eine sehr starcke vnd lustige Ma-  
china, mit welcher wenig Personen vberaus  
schwere vnd grosse Lasten ziehen vnd führen  
können.



Man vmb deme ein Mann mit der Well  
oder Handheben die Latern A. vmbtrei-  
bet / machet er zugleich auch das Rad B.  
dessen Zähne gedachte Latern mit ihren  
Spindelen erfasst / herumzugehen /  
Welches Rad / weil es an seiner Achse etne  
Schrauben eingeschnitten / vnd mit C.  
notiret hat / treibet es genandee Schrauben ebenmessiger  
weise herum / Nach deme aber solche Schrauben / mit ihrem  
vmbblauff in die Hölungen des Schraubenmätterlein D. E.  
so sie auff beyden Seiten hat / geht / Verursachet sie dieselben  
samt den zweyen doppelten Trömlen / welche an den Achsen  
gedachter Mätterlein gesteket / vnd mit F. G. notiret, beneben  
den zehenden Rädlein H. I. so gleichsals zu vnterst an  
jetzt gedachter Mätterlein Achse gemacht seyn herumzuges-  
hen / Welche Räder / wann sie durch diß mittel herum gehn /  
vnd mit ihren Zähnen die Zähne des Rades / so zwischen ih-  
nen mit K. notiret ist / ergreifen / treiben sie dasselbige glei-  
cher weiß / samt den zweyen Trömlen / so es an seiner Achse  
eingesteket hat / herum. Diweil dann solche Trömlen  
die ende der Seiler / so vmb die Wirbelein in den vier vnderen  
Zieheseiben gewunden / wie auch die oberen zwey mit F. G.  
signiret, die ende der Seiler / so die Wirbelein der vier oberen  
Zieheseiben vmbgeben / Die dann an den vieren mit K. L.  
M. N. notiret, wol zu sehen / auff sich wickelen / vnd also durch

Bild 3.8/1: Textergänzung zur Zeichnung der „Zugmaschine“ (um 1620)



Tafel 3.8/1: Zeichnung einer Maschine zum Ziehen schwerer Lasten  
(um 1620)

### 3.10 Dampfmaschine zur Wasserhebung (um 1706), Tafel 3.10/1

Dionysius Papin (1647 – 1710), als Hugenotte aus Frankreich vertrieben, fand 1687 eine Anstellung als Professor für Mathematik an der Universität in Marburg. Dort beschäftigte er sich eingehend mit der Entwicklung von Maschinen, um „Wasser mit Hilfe des Feuers“ zu heben und um Mechanismen, die die Wirkung des Wasserdampfes für technische Zwecke nutzbar machen konnten. Papin war der erste, der Dampf als Energieträger zur Erzeugung maschineller Nutzarbeit einsetzte. U.a. arbeitete er mit einer Experimentiermaschine, die aus einem Dampfkessel, einem Kolben-Zylinder-System und einem „Kondensator“ bestand. Das Wasser unter einem Kolben in der unten gezeigten Skizze wurde durch ein äußeres Feuer erhitzt und z.T. verdampft. Dabei dehnte sich der Dampf aus und hob den Kolben an. Nach dem Entfernen des Feuers kondensierte der Dampf und es bildete sich unter dem dichtschließenden Kolben ein luftverdünnter Raum, den Papin, wie noch heute üblich, „Vakuum“ nannte. Durch den atmosphärischen Luftdruck wurde der Kolben nach unten gedrückt. Die hierbei geleistete Arbeit konnte für allerlei Nutzeffekte eingesetzt werden. Das war das Prinzip der „atmosphärischen Maschine“.

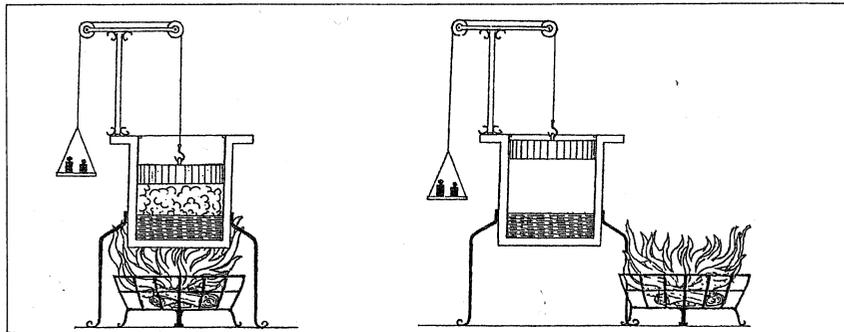


Bild 3.10/1: Papin'sche Experimente mit der Wirkung des Wasserdampfes (um 1690)

1698 versucht er mit einer ersten größeren Maschine, Wasser aus der Fulda auf ein höheres Niveau zu fördern. Ob es gelungen ist, ist nicht sicher. Papins zweite Maschine aus dem Jahr 1706 war nachweislich betriebsfähig. Wie lange sie in Betrieb war ist strittig. Dauerhaft, d.h. mehrere Jahre, sicherlich nicht. Sie wurde als Dampfmaschine eingesetzt und war in der Lage, aus einem 40 Fuß hohen Steigrohr, Wasser in „beliebiger Menge“ ausfließen zu lassen. Konstruktive Zeichnungen von der Maschine sind nicht erhalten geblieben. Einzig eine Funktionsskizze aus dem Jahr 1706 zeigt den prinzipiellen Ablauf der „Wasserhebung“. Die Skizze ist interessant, weil sie auf anschauliche Weise den Stand der technischen Beschreibung einer komplizierten Funktion zeigt.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler

Die Darstellung wurde 1706 angefertigt. Vermutlich nach Skizzen von Papin. Der Künstler ist nicht bekannt.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Kupferstich auf Papier.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die Funktion ist am einfachsten aus der Funktionsskizze zu erkennen. Im Zylinder b läuft ein dichter Kolben c. Der Zylinder ist einerseits mit dem Kessel a und andererseits durch das Rohr h mit dem Wasserbehälter e und einer Art Windkessel f verbunden. In a wird Dampf mit größerem Überdruck erzeugt. Ist der Hahn d geschlossen, so dass kein Dampf oberhalb des Kolbens c gelangt, so wird durch die Klappe o kaltes Wasser aus e in den Zylinder b fließen.

Der Kolben c steigt. Wird jetzt der Hahn d geöffnet, so drückt der eindringende Dampf den Kolben c herab. Die Klappe o schließt sich und das Wasser wird über die sich öffnende Klappe i in den Windkessel f befördert und über das Rohr g auf das höhere Niveau. Die Maschine arbeitete mit „Überdruck“. Es ist also keine atmosphärische Maschine. Ein kontinuierlicher Betrieb wird durch abwechselndes Öffnen und Schließen von d erreicht. Zur Wasserhaltung in Bergwerken war sie nicht geeignet, da die gesamte Anlage auf dem unteren Wasserniveau stand.

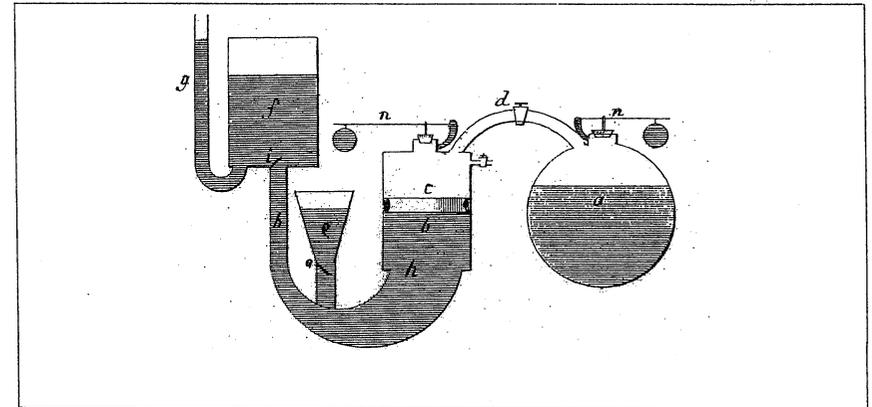


Bild 3.10/2: Funktionsprinzip von Papins zweiter „Dampfmaschine“ zur Förderung von Wasser (1706)

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

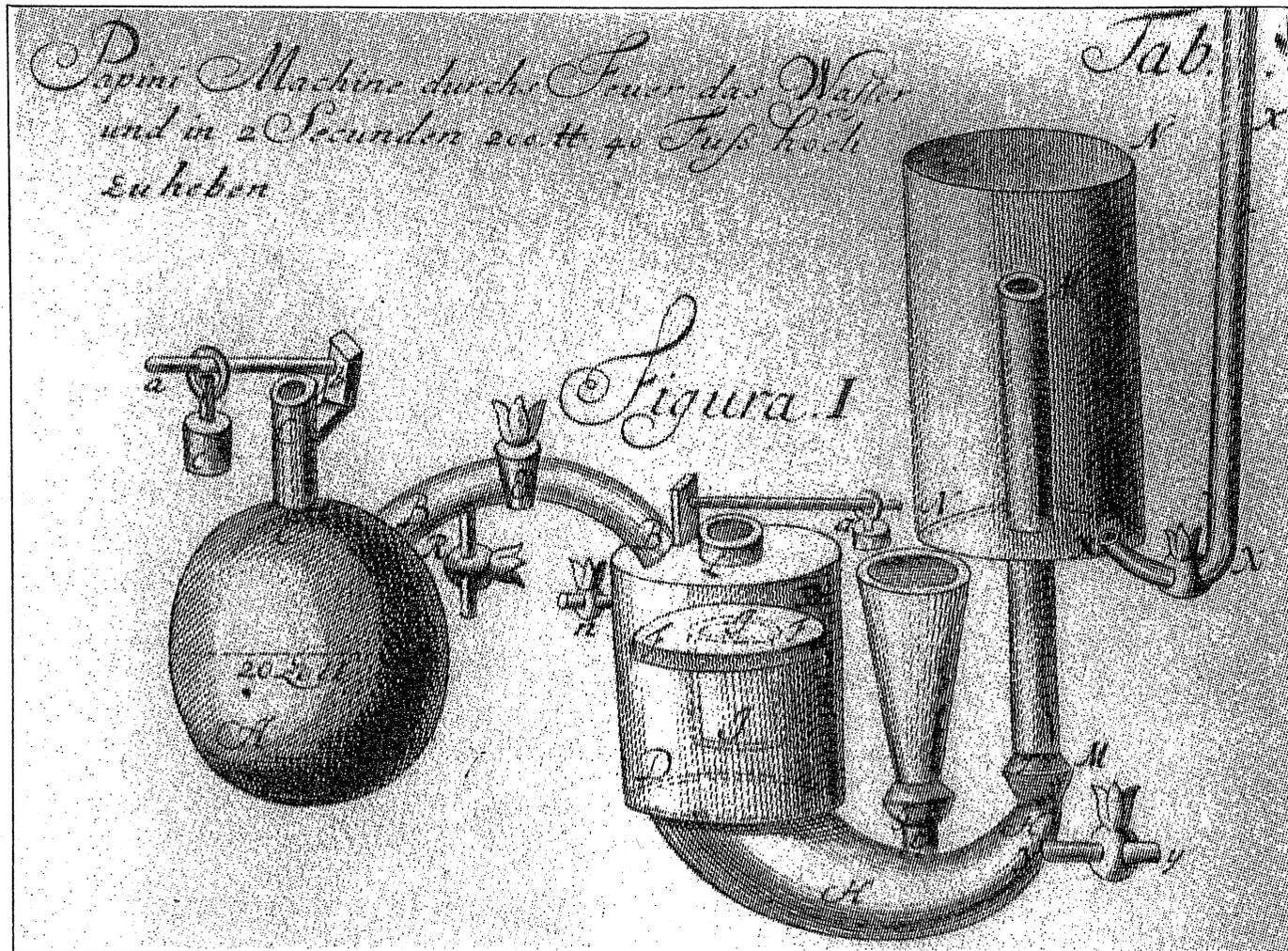
Es gibt eine müßige Diskussion, wer als Erfinder der „Dampfmaschine“ angesehen werden kann. Die Lösung des Problems scheidet aus methodischen Gründen. Was ist eine Dampfmaschine? Eine Maschine, die mit Dampf irgendeine mechanische Wirkung erzeugen kann? Die Namen der bekannten Erfinder reichen von Heron dem Älteren (um 215 v. Chr.), über Giovanni Branca, Verbiest, Leupold, Savery, Newcomen bis Watt. Papin kann man in diese Reihe einordnen. Sein Einfluss auf die technische Nutzung der Dampfkraft war erheblich.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Tafel der Maschine zeigt eine Originalskizze aus der Zeit mit schriftlichen Erläuterungen und Buchstabenkennungen an den Hauptteilen zur Erläuterung der prinzipiellen Funktion in einem beigeordneten Schriftteil. Die Funktion ist eindeutig erkennbar, die technische Ausführung der Anlage nicht. Die Zeichnung diente nicht als Anleitung zum Bau, sondern ausschließlich zur Erläuterung der Funktion. Diese Art der Darstellung war üblich. Von den gebauten Maschinen sind zumeist nur einfache Skizzen auf Wänden, auf dem Boden oder auf Holz angefertigt worden. Sie sind längst verloren gegangen.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Skizze ist anschaulich gezeichnet, aber keine Perspektive. Die Darstellung ist dem Zweck, nämlich der klaren Erläuterung der Funktion, untergeordnet. Die zeichnerische Ausführung ist nach individuellem Gusto des Kupferstechers angefertigt. Das Original war auf Papier gezeichnet und von Hand koloriert.



Tafel 3.10/1:  
Zeichnung einer  
Dampfmaschine  
zur Wasserhebung  
(um 1706)

### 3.12 Dampfwagen von Cugnot (1769), Tafel 3.12/1

Das erste Motorfahrzeug mit einem inneren Antrieb wurde 1769 von Joseph Cugnot gebaut. Es war ein schwerer Blockwagen mit drei Rädern und hölzernem Rahmengestell. Vorgesehen war er zum Transport von schweren Gütern und zum Ziehen von militärischem Gerät. Der birnenförmige Kessel lag frei vor der Vorderachse. Der Wagen ist mehrfach bei Vorführungen gefahren. Der Wasservorrat reichte allerdings nur für sehr kurze Fahrten. Ein zweiter Wagen ähnlicher Bauart wurde 1771 gebaut. Er kam aber nicht mehr zum Einsatz.

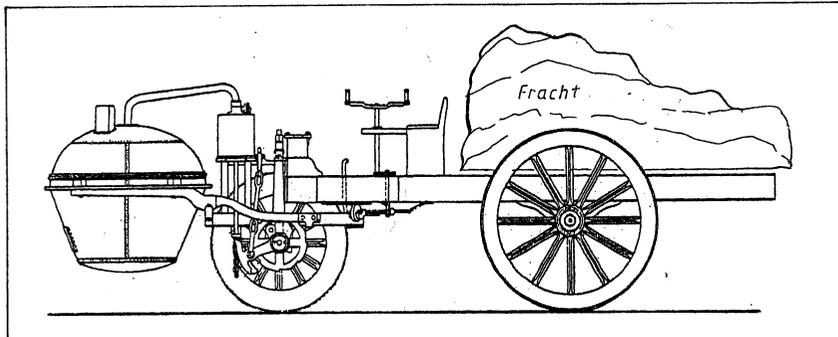


Bild 3.12/1: Skizze des gesamten Dampfwagens von Cugnot (1769)

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler

Die Zeichnung wurde etwa 80 Jahre nach der Erfindung des Dampfwagens angefertigt. Der Künstler ist nicht bekannt.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Kolorierter Kupferstich.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

In der Tafel ist nur der Antriebsteil des Vorderrades dargestellt. Die Maschine hatte zwei einfach wirkende, hängende Zylinder, die über ein Sperrklinkenwerk das Treibrad in Bewegung setzten. Die Bewegung der Sperrklinkenwerke war durch einen Schwingbaum so gekoppelt, das eine kontinuierliche Drehung des Vorderrades erreicht wurde.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Es handelt sich um den ersten selbstfahrenden Wagen, der mit Dampfkraft kurze Zeit fahren und eine begrenzte Transportfunktion erfüllen konnte. Für einen dauerhaften Betrieb waren sie ungeeignet. Die Konstruktion und der Bau waren eine Pionierleistung. Das Fahrzeug war seiner Zeit weit voraus. Eine Weiterentwicklung hat es allerdings nicht gegeben. Eine bemerkenswerte Eigenschaft der Fahrzeuge von Cugnot wird oft übersehen. Es waren die auch die ersten Nutzfahrzeuge mit im Wagen integrierter Ladefläche und damit die Vorläufer moderner Lastkraftwagen. Der kompakte, vorgesetzte Antrieb und die durchgehende Ladefläche waren eine Einheit. Das sind die Merkmale moderner Lastkraftwagen. Diese Entwicklungslinie wurde nicht weiter verfolgt. In den folgenden fast 100 Jahren sind nur noch Dampfschlepper, Dampfzugmaschinen u.a.m. gebaut worden. Bei ihnen sind die Gespanne nur durch die Dampfkraft ersetzt worden. Erst um 1870 wurde der Bau von Dampf-Lastwagen mit integrierter Ladefläche in Deutschland wieder aufgenommen.

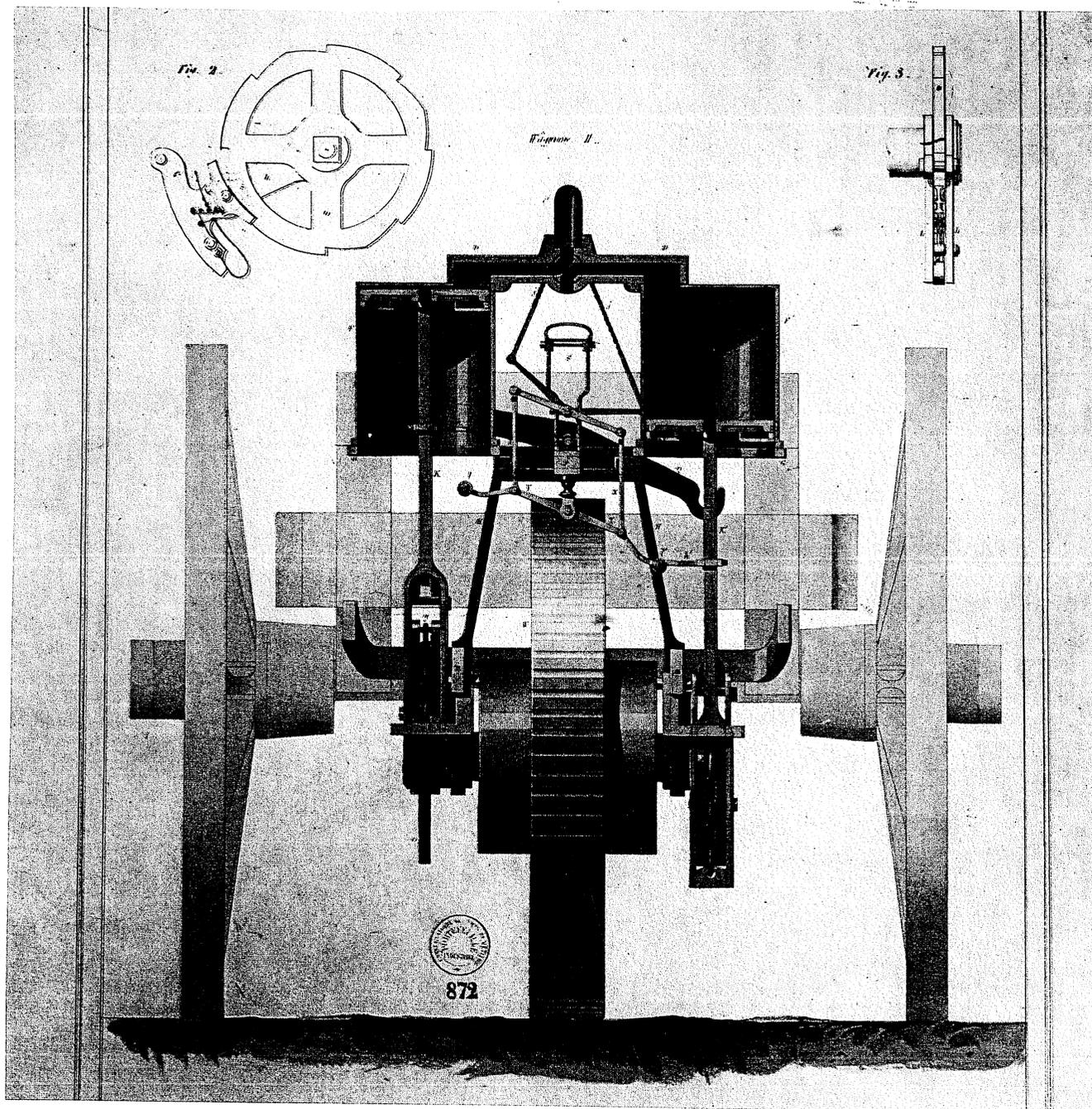
#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Zeichnung zeigt die Funktion des Antriebs vollständig. Details zur Ausführung des Sperrklinkenwerks sind gesondert gezeichnet. Das Blatt wurde nicht zum Zeitpunkt des Baus des Fahrzeugs gezeichnet, sondern wesentlich später. Es zeigt aber eindrucksvoll u.a. die

filigranen Schmiedearbeiten, zu denen Handwerker Mitte des 18. Jahrhunderts fähig waren. Die Zeichnung ist als orthogonale Parallelprojektion gezeichnet. Sie entspricht im Grundsatz der heute üblichen Darstellung. Als Schnittebene sind die beiden Zylinder gewählt worden. Dadurch ist die Mechanik des Antriebs deutlich herausgestellt.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Zeichnung diente ausschließlich zu Präsentation der Technik des Fahrzeugs und zur Erläuterung der Funktion des Antriebs. Der Stich war aufwendig koloriert mit lavierten Schattierungen. Die Darstellung ist zeichnerisch sehr genau. Die Größenverhältnisse sind durch die Maßleiste am Fuß der Zeichnung eindeutig festgelegt.



Tafel 3.12/1:  
Schnittzeichnung  
des Antriebsteils  
des Dampfwagens  
von Cugnot  
(um 1769)

### 3.15 Zweite deutsche Lokomotive (1817), Tafel 3.15/1

Der Anfang des deutschen Eisenbahnbaus war nicht von Erfolgen gekrönt. Die erste hier gebaute Lokomotive wurde von Krigar, seinerzeit Inspektor der Königlichen Eisengießerei in Berlin, 1815 gebaut. Die Maschine sollte zum Kohlentransport auf der Königshütte in Oberschlesien eingesetzt werden. Im Juni und Juli 1816 ist die Lokomotive in Berlin bei Probe- und Publikumsfahrten in Betrieb zu sehen gewesen. Die Gazetten berichteten eingehend von dem Ereignis. Nach dem Zerlegen, dem Transport nach Schlesien und erneuter Montage stellte man fest, dass die dortige Schienenspur breiter war als die der gebauten Maschine. Nach längeren, unbefriedigenden Reparaturversuchen baute man die Maschine zur stationären Pumptanlage um.

1817 begann man in Berlin mit dem Bau einer zweiten Lokomotive und stellte sie im gleichen Jahr fertig. Sie sollte auf der Zeche Bauernland an der Saar eingesetzt werden. Vor Ort zusammengesetzt funktionierte auch sie nicht zufriedenstellend. Nach erfolglosen Reparaturversuchen wurde sie 1836 verschrottet.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler

Die Zeichnung wurde 1816/17 angefertigt. Vermutlich von Inspektor Krigar selbst.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Einfache Tuschezeichnung auf Papier. Konstruktionszeichnung für den betrieblichen Gebrauch.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die Lokomotive hatte einen tragenden Rahmen aus stabilen Holzbalken. Der zylindrische Kessel war aufgesetzt. Die Maschine hatte nur zwei Achsen. Die mittlere Achse trug eine Art „Zahnrad“, das in eine entsprechend verzahnte „Schiene“ eingriff. Diese „Schiene“ gab es nur an einer Seite. Man war zu der Zeit der Meinung, dass die Reibung zwischen einem glatten Rad und einer glatten Schiene zum Ziehen von Lasten nicht ausreichen würde. Zum Antrieb selbst waren zwei Zylinder vorgesehen, die man senkrecht in den Kessel eingebaut hatte. Der weitere Antrieb erfolgte über zwei oben liegende Balancier, Hebel, Kurbel, Vorgelege auf das „Zahnrad“ (nicht gezeichnet).

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Diese und die erste hierzulande hergestellte Lokomotive entsprachen in ihrem Aufbau dem Stand der Technik. Größere Innovationen hatte man wohl bewusst vermieden. Die Königliche Eisengießerei in Berlin war eine der führenden Gießereien und zählte zu den besten Maschinenbetriebe in Deutschland. Der Bau der Lokomotiven führte sie an die Grenzen des technisch machbaren. Insbesondere die mechanische Bearbeitung in der geforderten Genauigkeit und das „Passen“ beim Zusammenbau bereiteten die größten Probleme. Hinzu kam noch eine Reihe von Schwierigkeiten, die mehr im Organisatorischen und administrativen Bereich lagen. In der Summe haben die Lokomotiven zwar funktioniert, aber zu einem erfolgreichen praktischen Einsatz ist es nicht gekommen.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Zeichnung der Lokomotive ist unvollständig. Sie konnte nur beim Zusammenbau des „Fahrgestells“ eingesetzt werden. Die Dampfzylinder und die gesamte Übertragungsmechanik fehlen. Die Zeichnung ist als exakte Orthogonalprojektion in Seitenansicht, Draufsicht und Seitenansicht ausgeführt. Die Blickrichtungen der Ansichten entsprachen den in der Zeit üblichen. Die wesentlichen Hauptmaße sind eingetragen. Die Zeichnung enthält viele schriftliche Hinweise und Bemerkungen sowie einige Kennbuchstaben. Die Buchstaben weisen auf eine parallel angefertigte, tiefgehende textliche Beschreibung hin. Die Zeichnung enthält keinerlei Ornamentik und Zierrat. Sie ist im nüchternen Stil einer Werkstattzeichnung gehalten.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Tuschezeichnung mit der Feder gezeichnet auf Papier. Gesamtzeichnung für das Rädergestell und den Kessel. Als Konstruktions- und bedingt Werkstattzeichnung gedacht.



Bild 3.15/1: Erste deutsche Lokomotive von 1815  
(Links unten auf einer eisernen Tafel aus dem Jahr 1816)

Diege Felächterung des Dampfzuges, welche bis jetzt so weit die Fig. 1, 2 und 3 zeigen, auf der Befugnis der bei Locomotiv zusammengefasst ist.

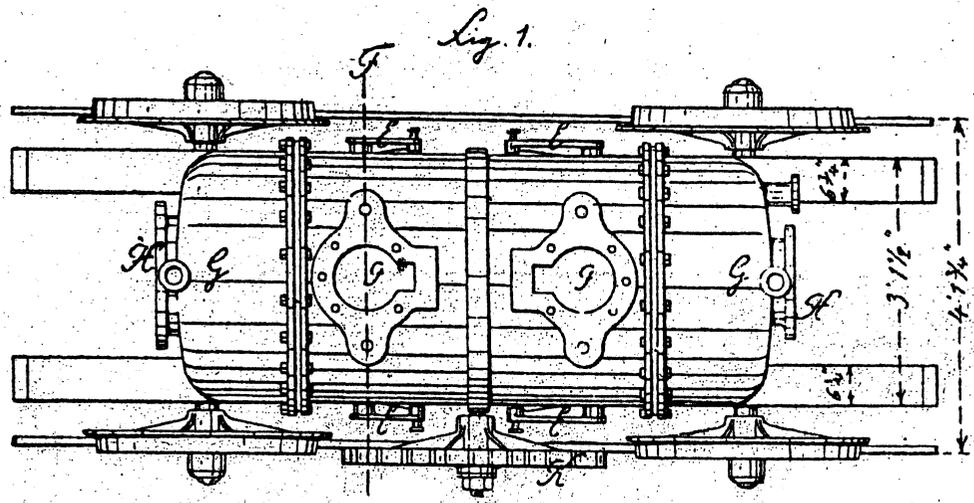
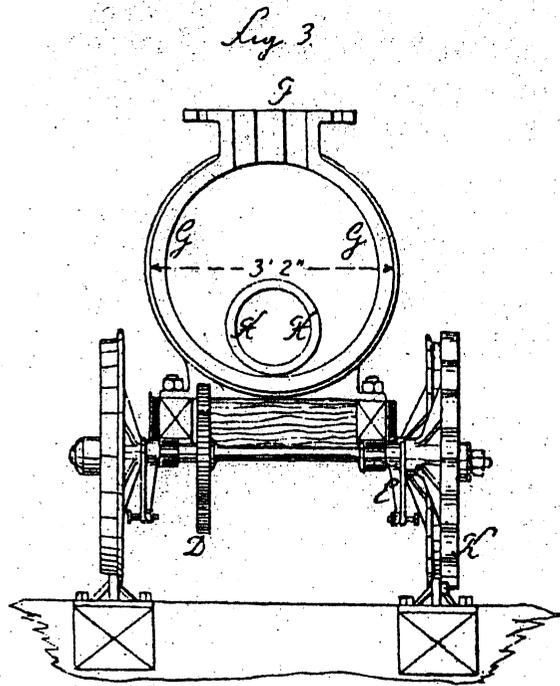
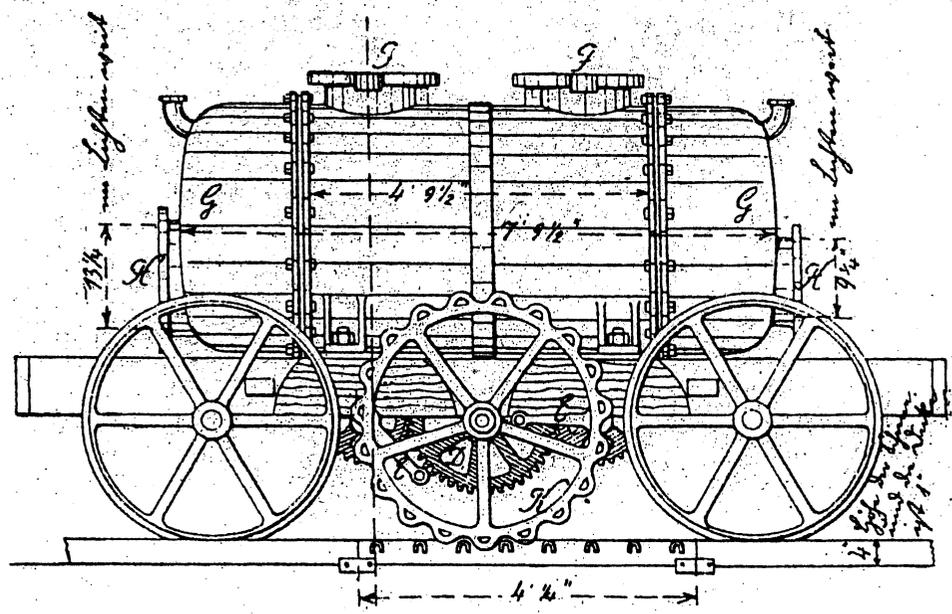


Fig. 1. Aufsicht von oben.  
 Fig. 2. Aufsicht von der Seite.  
 Fig. 3. Querschnitt durch die Locomotiv.  
 G. G. ist der Dampfzylinder, welcher in  
 zwei getrennten Köpfen K. K. gefügt wird.  
 Im P. befinden die beiden Dampfzylinder be-  
 festigt, durch welche, mittelst Kolben und  
 Pleuelstange, die Pleuelstange L. L. be-  
 wegt werden, wodurch die Pleuelstange  
 auf dem Pleuel D, und auf dem Pleuel K im  
 Pleuel K, mittelst der Pleuelstange in die Pleuel  
 in der Pleuel die Pleuel Pleuelstange



Tafel 3.15/1: Zeichnung der zweiten deutschen Lokomotive (1817)

### 3.16 Druckluftlokomotive (1822), Tafeln 3.16/1,2 und 3

Die Entwicklung der „eisernen Bahnen“ mit Dampftrieb zum dominierenden Transportsystem war zu Beginn ihres Einsatzes nicht absehbar. Im Gegenteil, es gab viele Rückschläge und der angestrebte wirtschaftliche Erfolg stellte sich in vielen Fällen nicht ein. Die Einsparungen im Vergleich zu Fuhrwerken wurden nicht erreicht, es gab viele Ausfälle und Unfälle. Der Dampftrieb war gefährlich. Es gab eine Reihe von Vorschlägen, die die Vorteile der „eisernen Bahnen“ nutzten, aber die Nachteile des Dampftriebs vermieden. Eine Idee stammte von dem „Königl. bairischen Oberst-Bergrath und Maschinen-Direktor Joseph Ritter von Baader“. Er wollte „zusammen gedrückte“ Luft als Antriebsenergie verwenden. Seine „Luft-Maschinen“ sollten, auf Wagengestelle gesetzt, den Lasttransport auf „eisernen Bahnen“ bewerkstelligen. Die Idee war seiner Zeit voraus.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler

Die Zeichnungen stammen aus einer Schrift von Baaders aus dem Jahr 1822. Der Zeichner ist nicht bekannt.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Kolorierte Kupferstiche auf Papier.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die Darstellungen in den Tafeln stellen die Funktionen vollständig dar. Auf eine detaillierte Erläuterung kann verzichtet werden. Die ersten beiden Tafeln zeigen die Erzeugung der „zusammen gedrückten Luft“ mit Hilfe eines durch Wasserkraft angetriebenen „Luftverdichters“. Als Verdichter diente ein doppelt wirkender Zylinder. Die Steuerung der verdichteten Luft erfolgte mittels Hahn. Dessen Betätigung übernahmen Nocken, die auf einem Hilfsrad angeordnet waren. Ein großer Behälter dient zur Speicherung der „Druckluft“.

Die dritte Tafel zeigt die „Druckluftlokomotive“.

Der Antrieb erfolgte mit Hilfe von zwei stehenden Zylindern über Balanciere zur Antriebsachse mit Außenkurbeln. Zur Kraftübertragung war ein Zahnrad-Zahnstangen-System vorgesehen. Die Laufräder des Wagens wurden nicht angetrieben. Das entsprach dem Wissensstand der Zeit. Die Fachleute waren sich nicht einig, ob die Reibung zwischen der glatten Schiene und dem Rad zur Kraftübertragung ausreichen würde. Die verdichtete Luft wurde in neun kleineren zylindrischen Behältern mitgeführt. Dieses einfache und relativ sichere System mit vielen kleinen Behältern zur Luftspeicherung ist später bei Druckluftlokomotiven eingesetzt worden.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Von Baader hat mit der ausführlich beschriebenen Idee einer Druckluftlokomotive eine spezielle Entwicklung des Eisenbahnwesens vorausgesehen. Die Idee mutete damals utopisch an. Aber keine 50 Jahre später führen beispielsweise im öffentlichen Personenverkehr in einigen Großstädten Straßenbahnen mit unterschiedlichen Druckluftantrieben, teils mit gespeicherter Druckluft im Fahrzeug, teils mit äußeren Druckluftantrieben. Druckluftlokomotiven sind auch in explosionsgefährdeten Bereichen, beispielsweise im Bergbau, als Zuglokomotiven eingesetzt worden. Mit den Mitteln der Zeit konnten die Maschinen 1822 noch nicht gebaut werden.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Darstellungen sind als genaue technische Zeichnungen ausgeführt worden, mit Ansichten (Hauptansichten, Seitenansichten) und Schnitten. Die Proportionen sind plausibel. Maßangaben fehlen allerdings. Die Darstellungen wurden durch einen ausführlichen Text ergänzt. Zur Verbindung von Zeichnung und Text stellten Buchstaben her.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Kupferstiche sind genau gearbeitet. Die technische Ausführung ist exakt übertragen worden. Die Kolorierung wurde sparsam eingesetzt. Zusammenhängende Elemente bzw. Funktionen haben eine Farbe. Alle Ansichten sind, wie zu Beginn des 19. Jahrhunderts üblich, als orthogonale Parallelprojektionen gezeichnet. Mittelachsen sind durch gestrichelte Linien angedeutet. Die Andeutung von Schattierungen entsprach dem Stil der Zeit.

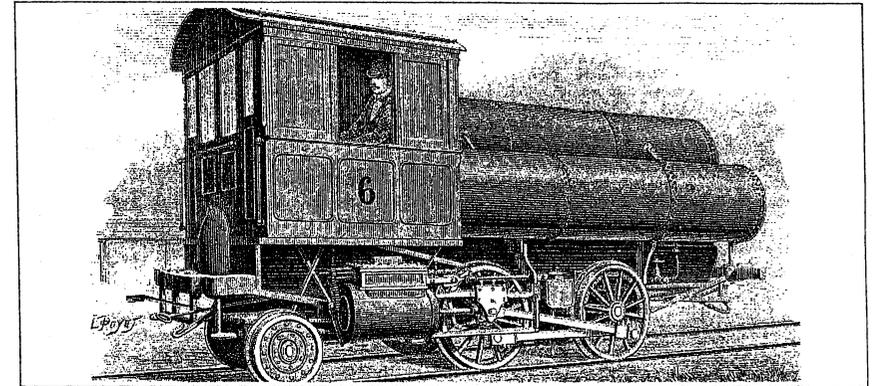
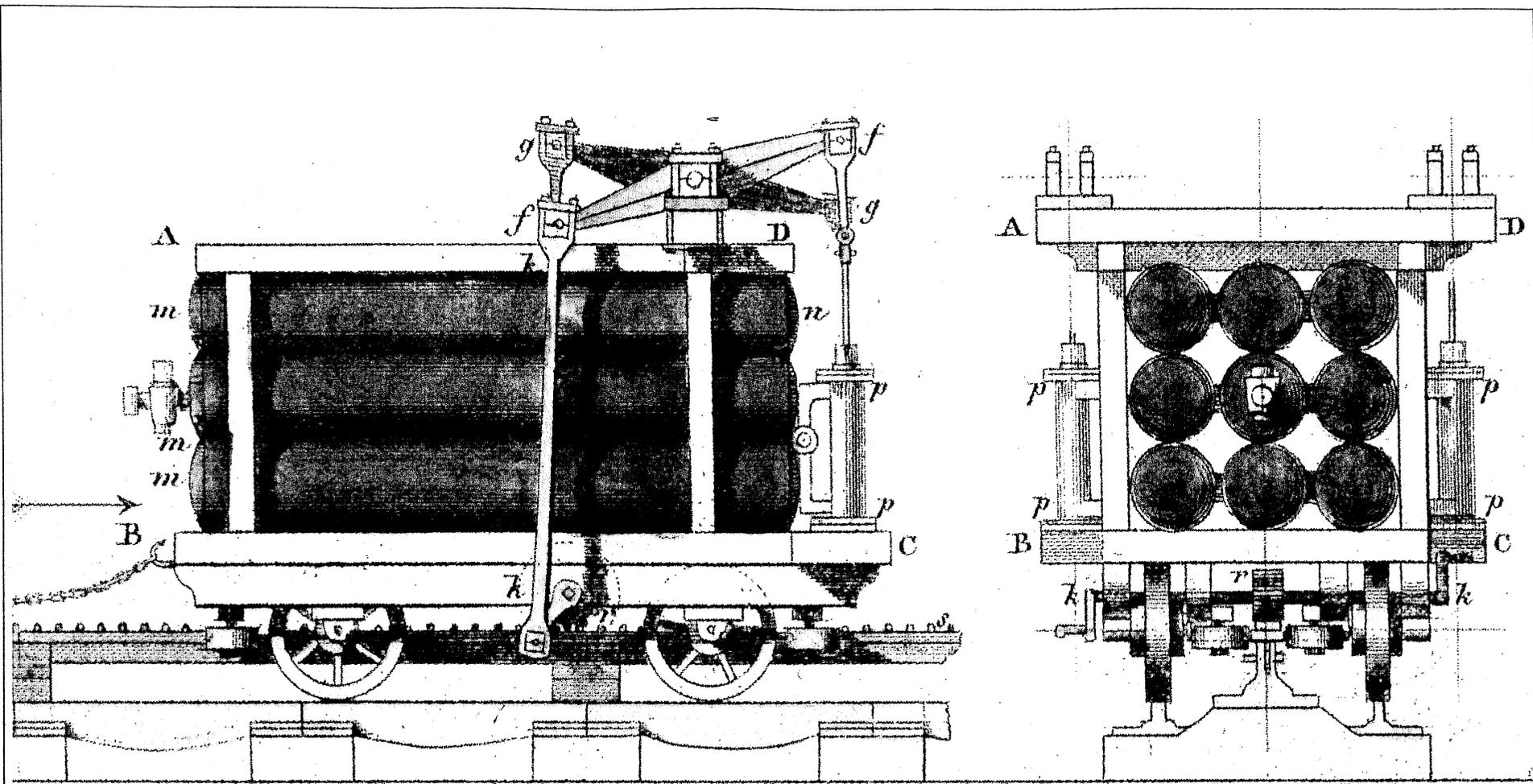


Bild 3.16/1: Druckluftlokomotive (um 1874)



Tafel 3.16/1: Zeichnung einer Druckluftlokomotive  
(1822)

### 3.18 Wasserdruckwerk (1834), Tafel 3.18/1

Wasserdruckwerke waren maschinentechnische Großanlagen zur mechanischen Erzeugung von Druckwasser. Druckwasser war im 19. Jahrhundert eine verbreitete Energieform zum Antrieb von Maschinen und Anlagen. Die großen Vorteile dieser Energie waren die Ungefährlichkeit des Mediums und der Wegfall jeglicher Rückleitungen. Das „verbrauchte“ Wasser wurde einfach in den nächstgelegenen Kanal geführt oder wiederverwendet. Der technische Gegenpart der Wasserdruckwerke waren die Wassersäulenmaschinen und kleinere mit Druckwasser betriebene Kraftmaschinen, sogenannte Wassermotoren. Sie nutzten den statischen Druck des Wassers zur mechanischen Arbeit aus. Voraussetzung war eine natürlich vorhandene Höhendifferenz des Wasserniveaus oder eine Anlage, die Druckwasser erzeugen konnte. Bei Wasserdruckwerken musste die mechanische Energie zur Erzeugung des Drucks beispielsweise durch Wasserräder erbracht werden. Die hier gezeigte Maschine wurde von einem Wasserrad angetrieben. Die Anlage stand bei dem „Neumühlen Wehre“ in Prag.

Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler, Zeichner

Die Abbildungen wurden wieder dem Tafelband des „Handbuchs der Mechanik“ von Franz Anton Ritter von Gerstner, Wien 1834, entnommen.

Bildanfertigung, Zeichentechnik

Kupfertafel auf Papier.

Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Eine vollständige Beschreibung aller Funktionen würde den Rahmen eines Zeichnungsbeispiels sprengen. Eine Kurzbeschreibung muss an dieser Stelle reichen. Der erzeugte Wasserdruck wurde zum Antriebe von Krane, Aufzüge, Schleusentore, Drehbrücken u.a.m. eingesetzt. Als Speicher diente ein hoch liegender Behälter oder ein Druckkessel, der nur zu einem geringen Teil mit Wasser gefüllt wurde. Das Druckwasser entfaltet seine Wirkung zumeist in Druckzylindern. Wassermotoren mit rotierender Antriebsbewegung waren seltener.

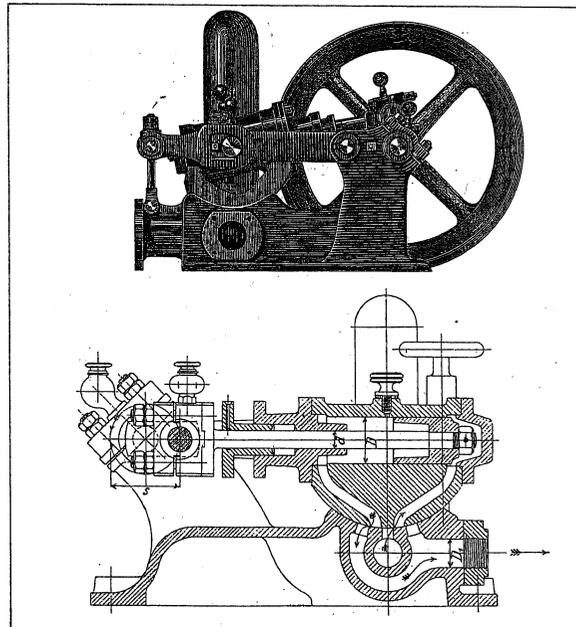


Bild 3.18/1:  
Kleiner Wassermotor  
von A. Schmid, Zürich  
(um 1880)

Die in der Tafel gezeigte Anlage aus dem Jahr 1828 ist weitgehend aus Holz gebaut. Die Lager, Verstärkungsteile und Zylinder waren aus Eisen. Die Anlage wurde von einem Wasserrad (nicht dargestellt) angetrieben. Die Achse des Wasserrades war in eine vierfach gekröpfte Kurbelwelle verlängert worden (links in der Zeichnung Fig. 1 sind die vier Kurbelwangen zu erkennen). Die Bewegung der Kurbeln wird über hölzerne „Schubstangen“ auf die oben befindlichen Druckbalken übertragen. Die hölzernen Druckbalken sind schwingende, einarmige Hebel mit Wandlagerung (rechts in der Zeichnung Fig.1). Am Ende des Druckbalkens, an der Kurbelwellenseite, befindet sich der Anschluss für die Kolbenstange der Pumpzylinder (Fig. 8). In der Fig. 7 ist der Zylinder mit Plungerkolben zu sehen.

Technikgeschichtliche Bedeutung

Die dargestellte Anlage war typisch für Wasserdruckwerke Anfang des 19. Jahrhunderts. Die Anlagen wurden in den Fällen vorgesehen, in denen hydraulische (hydrostatische) Energie als Arbeitsenergie technisch sinnvoll und wirtschaftlich eingesetzt werden konnte. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb war genügend natürliche Wasserkraft. Ein großer Niveauunterschied des Wassers war nicht notwendig. Ein Wehr reichte für die Funktion aus.

Analyse der zeichnerischen Darstellung

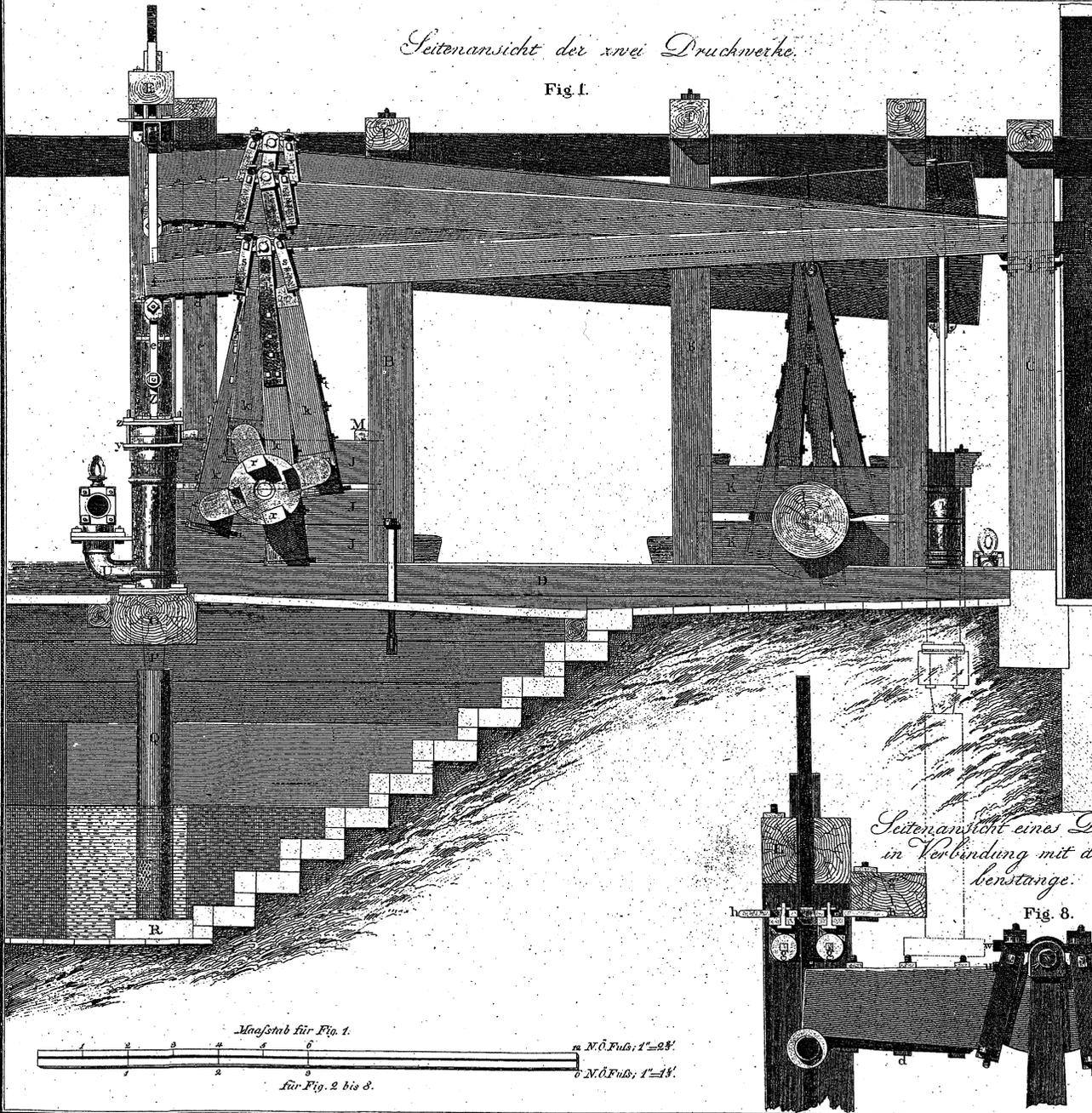
Siehe vorangegangenes Beispiel. Außergewöhnlich sorgfältige Zeichnung mit allen Details.

Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Siehe vorangegangenes Beispiel.

Seitenansicht der zwei Druckwerke.

Fig. 1.



Maßstab für Fig. 1.

in N.Ö. Fuß, 1" = 2 1/2'

in N.Ö. Fuß, 1" = 1 1/2'

für Fig. 2 bis 8.

Obere Ansicht der Gussseisenplatte durch welche die Rollenstangen gehen.

Fig. 2.

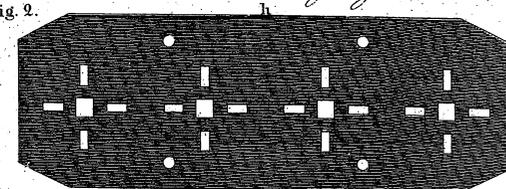


Fig. 3. Seitenansicht dieser Platte.



Fig. 4.

Fig. 5.

Untere Ansicht derselben Platte sammt Leitungsrollen.

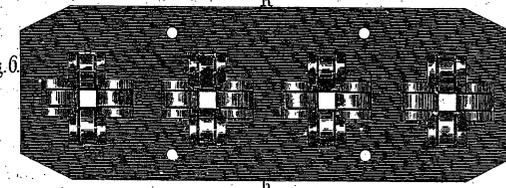
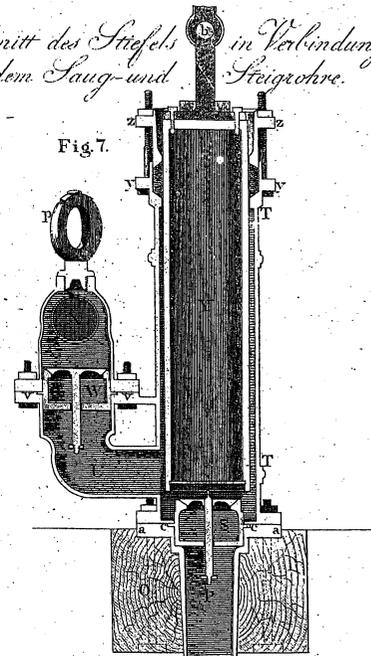


Fig. 6.

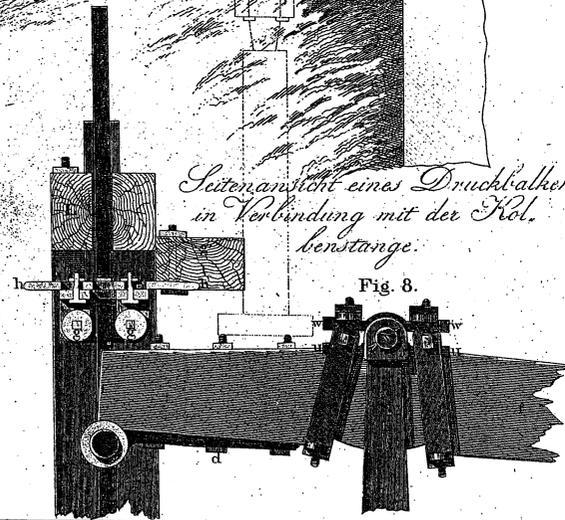
Durchschnitt des Stiefels in Verbindung mit dem Saug- und Freigehre.

Fig. 7.



Seitenansicht eines Druckbalkens in Verbindung mit der Rollenstange.

Fig. 8.



Tafel 3.18/1: Zeichnungen vom einem Wasserdruckwerk, Neumühlenwehr, Prag (1834)

### 3.21 Dampflokomotive (1846), Tafeln 3.21/1, 2, 3 und 4

Es handelt sich bei der dargestellten Lokomotive um eine französische Konstruktion. Die Bauweise entspricht dem Entwicklungsstand der Zeit. Nur die mittlere Achse wurde angetrieben. Das Antriebsrad war deutlich größer gehalten als die Räder der beiden anderen Achsen. Technische Leistungsangaben liegen nicht vor.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Zeichner

M. Armengaud Ainé veröffentlichte 1846 und 1847 in Paris einen umfangreichen Plansatz zu verschiedenen Maschinen und Anlagen aus allen Gebieten der Technik. Die Zeichnung wurde dem Tafelband zu „Publication Industrielle des Machines, Outils et Appareils“ entnommen. Angefertigt wurden die Tafeln vermutlich von J. Petitrain.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Kupferstich auf Papier. Zeichnungen für Lehrzwecke und als Beispielvorlagen für Unternehmen angefertigt. Ähnliche Zeichnungen von vollständig wiedergegebenen Maschinen gab es auch im deutschsprachigen Raum.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die Erläuterung der Lokomotive erübrigt sich. Die Technik ist allgemein bekannt. Das dargestellte Beispiel zeigt eine moderne Lokomotive mit einer besonderen Steuerungsart.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

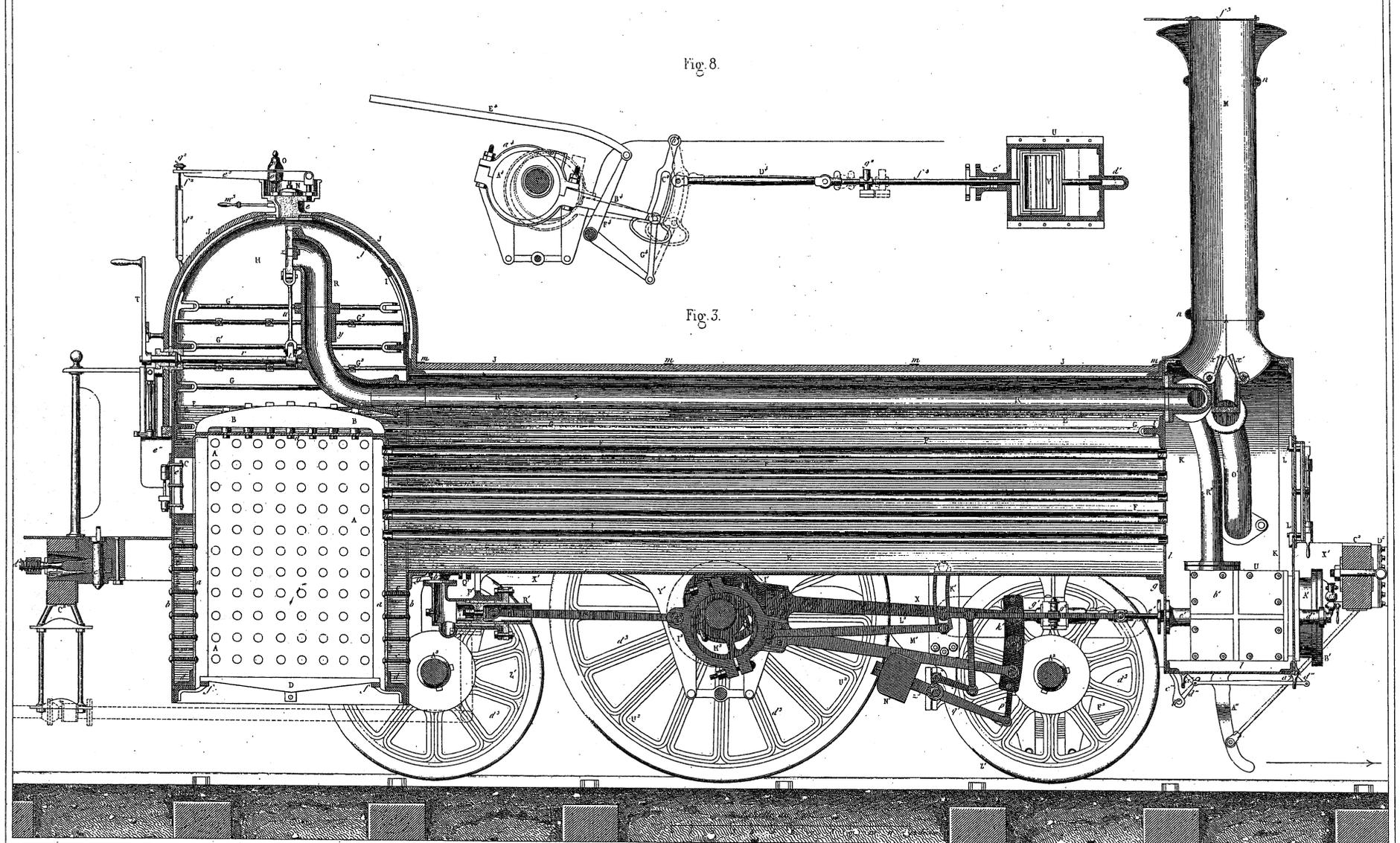
Die zu Beginn des 19. Jahrhunderts sehr kontrovers geführte Diskussion, welches System für den Landverkehr das am besten geeignete wäre, Landverkehr mit „Dampfwagen auf eisernen Bahnen“ oder Landverkehr mit „Dampfwagen auf Chaussees“, war nach den Erfolgen der Systeme auf eisernen Bahnen entschieden. Die „Dampfwagen“ des Systems, die Lokomotiven, hatten um 1840 schon einen beachtlichen technischen Reifegrad erreicht. Die Grundbauweise kann man schon fast als „standardisiert“ bezeichnen. Bei dieser Lokomotive liegen die Zylinder mit den Triebstangen zwar wie üblich außen, aber die Steuerung ist nach innen verlegt. Die geschützte Anordnung war unüblich. Die Zylinder arbeiten mit variabler Füllung durch zwei Flachschieber, je zwei pro Zylinder. Ein Grundschieber mit „Exzenterantrieb“ und ein Expansionsschieber, ebenfalls mit „Exzenterantrieb“, zur variablen Steuerung des Dampfeintritts in den Zylinder durch Veränderung der Hebelgeometrie zum Expansionsschieber.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Das Beispiel zeigt den Stand bei technischen Darstellungen zur Mitte der 19. Jahrhunderts. Interessant ist die vollständige Konstruktion der Maschine auf vier Tafeln in allen Einzelheiten. Zum Verständnis der Steuerung ist das kinematische Schema in Fig. 2 wiedergegeben worden. Fig. 8 zeigt die konstruktive Umsetzung. Fig. 9 und 10 die Diagramme der Schieber. Die Details der Ausführung sind gesondert gezeichnet worden. Das „Lesen“ der Zeichnungen ist problemlos möglich und ein Vergnügen. Schattierungen sind durch enge Strichreihen angedeutet worden. Die Darstellung wirkt dadurch plastisch und lebendig. Im Gegensatz zu technischen Zeichnungen sind keine Mittellinien u.ä. verwendet worden. Die Größenverhältnisse können anhand der Maßstäbe auf den beiden letzten Tafeln abgeschätzt werden. Diese Zeichnungen waren nicht für den Gebrauch in Werkstätten gedacht, sie dienten als Konstruktionsbeispiele in technischen Lehranstalten, in Unternehmen und zur Repräsentation. Zu den Zeichnungen gehörte ein ausführlicher Beschreibungstext.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Tafeln sind in Kupfer (oder Stahl) gestochen worden. Die Tafeln sind hier aufgenommen worden, weil sie „offensichtlich“ eine Besonderheit besitzen: die Qualität der Stiche ist exzellent. Derartig herausragende Arbeiten findet man in der technischen Literatur ausgesprochen selten.



Tafel 3.21/2: Zeichnung einer Dampflokomotive (Längsschnitt)  
(1846)

### 3.23 Dampfzugmaschine von L. Schwartzkopff, Berlin (1864), Tafeln 3.23/1, 2 und 3

Als Zugmaschinen für Anhängewagen aller Art wurden ab Mitte der 1850er Jahre Dampfschlepper, Dampftraktoren, Dampfzugmaschinen und sogenannte Straßenlokomotiven eingesetzt. Ihre Bauweise war weitgehend einheitlich. Ein Kessel in „Lokomotivbauart“ wurde als zentrales und tragendes Element verwendet. Die Herstellung dieser recht komplizierten und teuren Kessel wurde fertigungstechnisch beherrscht. Sie war im Lokomotivbau seit Jahrzehnten im Einsatz und wurde, mit geringfügigen Anpassungen an den Betrieb auf Straßen, einfach übernommen. Die Dampfmaschine lag bei diesen Straßenfahrzeugen aufgesattelt auf dem Kessel. An der Feuerbüchse war die Achse für die großen Triebräder befestigt. Die vordere Lenkachse lag unter der Rauchkammer und hatte kleinere Räder. Während Dampfschlepper, Dampftraktoren und Straßenlokomotiven als Universalmaschinen noch andere Aufgaben, z.B. das Antreiben von Arbeitsmaschinen u.a.m. übernehmen konnten, waren Dampfzugmaschinen für die Erfüllung einer einzigen Aufgabe vorgesehen und ausgelegt, und zwar das Ziehen von mehreren Anhängewagen in einem Zug. Es waren Einzweckmaschinen. Die Dampfzugmaschine von L. Schwartzkopff fällt aus dem Rahmen üblicher Konstruktionen heraus. Es war eine vollständig eigenständige Entwicklung mit vielen Innovationen.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Zeichner

Die dargestellte Dampfzugmaschine wurde 1864 gebaut. Die Zeichnungen dürften kurze Zeit später, vermutlich um 1865, angefertigt worden sein.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Das Beispiel ist einem Buch über das landwirtschaftliche Maschinenwesen in den Jahren 1863 bis 1865 entnommen. Die Originalzeichnungen sind auf Papier gezeichnet und dann auf Stein übertragen worden. Es handelt sich um Lithographien. Der Zeichner ist nicht bekannt. Die Drucktafeln wurden in der Lith. Anstalt von Leupold Kraatz in Berlin hergestellt.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die Bauweise und die einzelnen Funktionen sind vollständig aus den Tafeln ersichtlich. Die Dampfzugmaschine hatte einen tragenden Rahmen, der Kessel war nicht mittragend. Der Rauchrohrkessel mit großem Dampfsammler war auf dem Rahmen aufgesetzt. Die Zweizylinder-Dampfmaschine lag verdeckt unterhalb des Rahmens. Es konnten zwei Fahrgeschwindigkeiten eingelegt werden. Der Kamin war hinten. Die Sicht nach vorne war völlig frei. Beide Achsen waren gefedert. Das Neue an der Maschine ist zum einen die völlig von den üblichen Zugmaschinen und Dampfschleppern abweichende äußere Erscheinung und zum anderen eine Vielzahl technischer Innovationen wie die Kesselkonstruktion mit dem großen Dampfsammler, die Federung beider Achsen (damals noch nicht durchgehend üblich), die frei Sicht des Fahrzeugführers nach vorne durch Anordnung des Kamins im Heck (und damit keine Rauchbelästigung der Bedienpersonen), die geschützte Lage der Dampfmaschine, das großflächige Abdecken aller beweglichen Maschinenteile und damit das Vermeiden des Scheuens von Pferden u.a.m.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Mitte des 19. Jahrhunderts begannen die ersten einheimischen Hersteller mit dem Bau von dampfgetriebenen Straßenschleppern. Am Anfang lehnte man sich an englische Vorbilder an. Diese Vorbilder hatten aber eine ganze Reihe von konzeptionellen Nachteilen. Man begann eigene Wege zu gehen. Die Dampfzugmaschine von Schwartzkopff ist eine der ersten, völlig eigenständigen Konstruktionen eines deutschen Herstellers.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

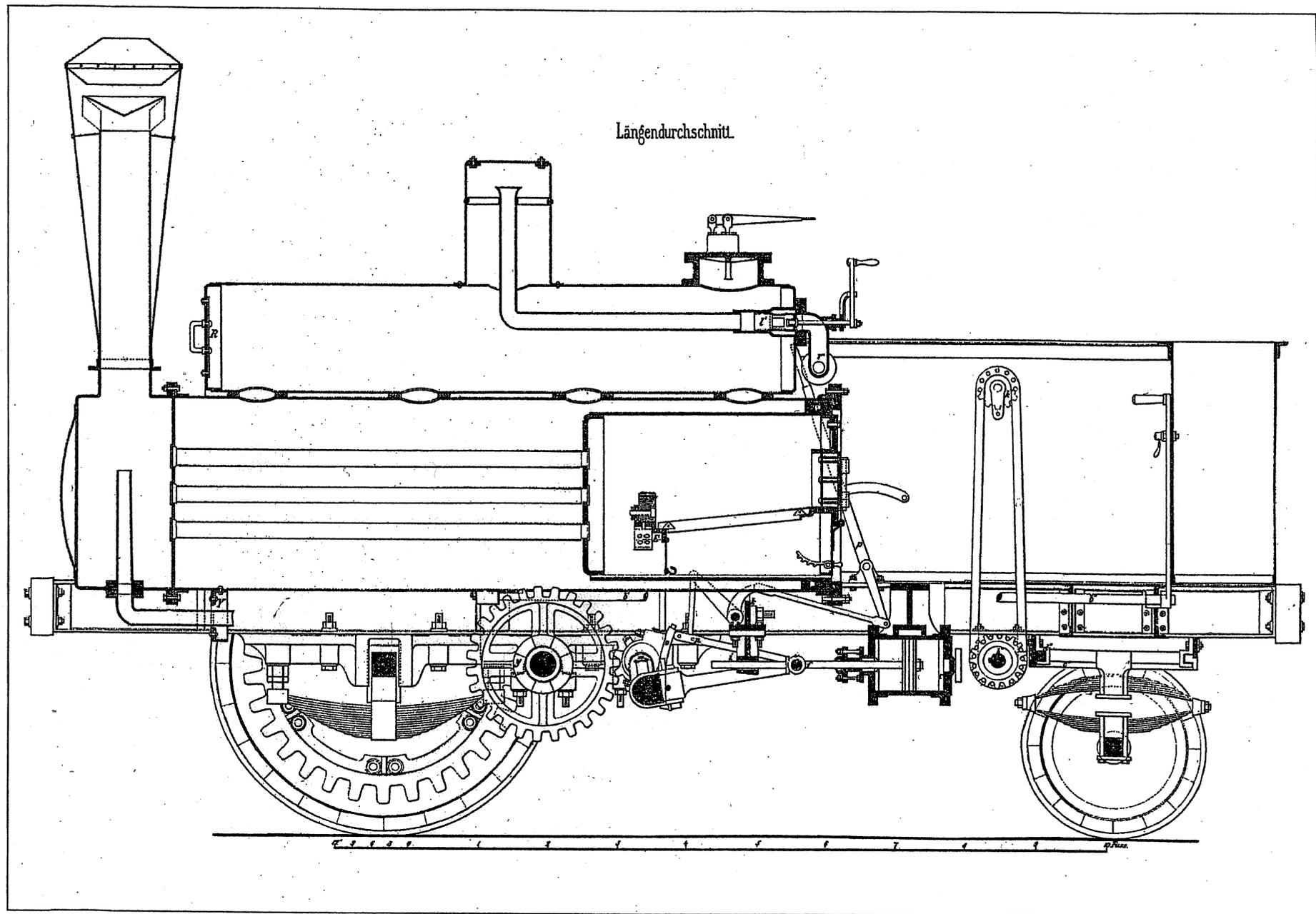
In den wesentlichen Funktionen ist die Maschine vollständig gezeichnet. Die Hauptmaße sind nicht eingetragen. Eine Maßskala auf jeder Zeichnung erlaubt beliebige Maße abzugreifen. Die Darstellungen haben einen völlig anderen Charakter als die des vorangegangenen

Beispiels. Sie sind auffallend sachlich gehalten, ohne jegliche Verfeinerung oder Andeutungen von Schatten etc. Auf das Eintragen von Mittellinien wurde verzichtet. Die Zeichnung war in der dargestellten Form nicht für den direkten Gebrauch in den Werkstätten vorgesehen.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Im unmittelbaren Vergleich mit dem vorangegangenen Beispiel wird die sehr einfach gehaltene Ausführung der Zeichnungen deutlich. Sie sind schon fast als „modern“ zu bezeichnen: sachlich, nüchtern, ohne Zierrat. Die Darstellungen selbst sind von mittlerer Qualität.

Die Zeichnungen reichen für das „Lesen“ und Verstehen der Konstruktion vollständig aus. Ähnliche Zeichnungen dienten damals auch als Vorlagen für die Konstruktion einzelner Teile. Sie wurden unter Verwendung der Maßstabsskala aus den Gesamtzeichnungen „herausgezeichnet“.



Tafel 3.23/2: Zeichnung einer Dampfzugmaschine (Längsschnitt)  
(1864)

### 3.25 „Rotierende Wasserhaltungsmaschine“ (1881), Tafel 2.25/1

Wasserhaltungsmaschinen wurden in Bergwerken, Hütten u.a.m. eingesetzt, wenn der Wasserzufluss in den Schächten durch andere Maßnahmen nicht mehr bewältigt werden konnte. Bei tiefen Schächten nahm der Wasserzufluss oft stark zu. Zur Bewältigung der Wassermassen waren großtechnische Anlagen notwendig. Das Beispiel zeigt eine Wasserhaltungsmaschine der Zeche Rheinpreußen bei Homburg. Gebaut wurde die Maschine von der Gutehoffnungshütte in Oberhausen. Dargestellt ist nur der Antriebsteil mit der Dampfmaschine, dem Balancier und dem Pumpengestänge. Die Abmessungen der Maschine waren gewaltig: Länge des Balanciers 12,7 m, Maximalzug am Pumpengestänge 240 t, Durchmesser der Schwungräder 7,5 m, Hub am Pumpengestänge 2,4 m, Zylinderdurchmesser 1,05 m bzw. 1,6 m. Sie förderte Wasser aus 800 m Tiefe. Die Nutzleistung lag bei gut 500 PS.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Zeichner

Die Zeichnung ist 1880 angefertigt worden. Der Zeichner ist unbekannt.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Die Zeichnung wurde für Druckzwecke von der Originalzeichnung übertragen. Die Originalzeichnung ist in Tusche ausgeführt worden. Der Druck als Lithographie vom Lith. Institut und Steindruckerei von W. Greve, Kgl. Hoflith., Berlin.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Wasserhaltungsmaschinen gab es in unterschiedlichen Konstruktionen, mit unten- oder obenliegendem Balancier, mit rotierendem Antrieb oder direktem Antrieb durch Dampfzylinder. Die Maschinen wurden mit unterschiedlichen Steuerungen gebaut. Die dargestellte Maschine hatte, in der Tafel links gezeichnet, einen rotierenden Antrieb. Die Antriebsmaschine war eine Zweizylinder-Verbunddampfmaschine mit stehenden Zylindern. Die Pleuelstangen waren durch eine stabile Traverse verbunden. Die vertikale Führung übernahmen stabile, gusseiserne Führungen. Die translatorische Bewegung der Traverse wurde nach oben über ein Koppelstück auf den Balancier (Schwingbaum) übertragen. Nach unten wurde die Bewegung über zwei lange Pleuelstangen auf zwei große Schwungräder geleitet. Die Pleuelstangen waren in der Art von Außenkurbeln direkt an den Schwungrädern befestigt. Die Schwungräder sorgten für einen gleichmäßigen Gang der Maschine. An der rechten Seite des Balanciers war das Pumpengestänge befestigt.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Die Wasserhaltungsmaschine war zu ihrer Zeit eine der größten und modernsten in Deutschland. Sie hatte eine patentierte Steuerung (Cataract-Steuerung Patent Kley). Dadurch konnte sie, wenn der Wasserzulauf geringer, war beliebig langsam arbeiten. Des Weiteren verhinderte die Steuerung bei einem Bruch des Pumpengestänges oder Bruch bei den Pumpen ein „Durchgehen“ der Maschine.

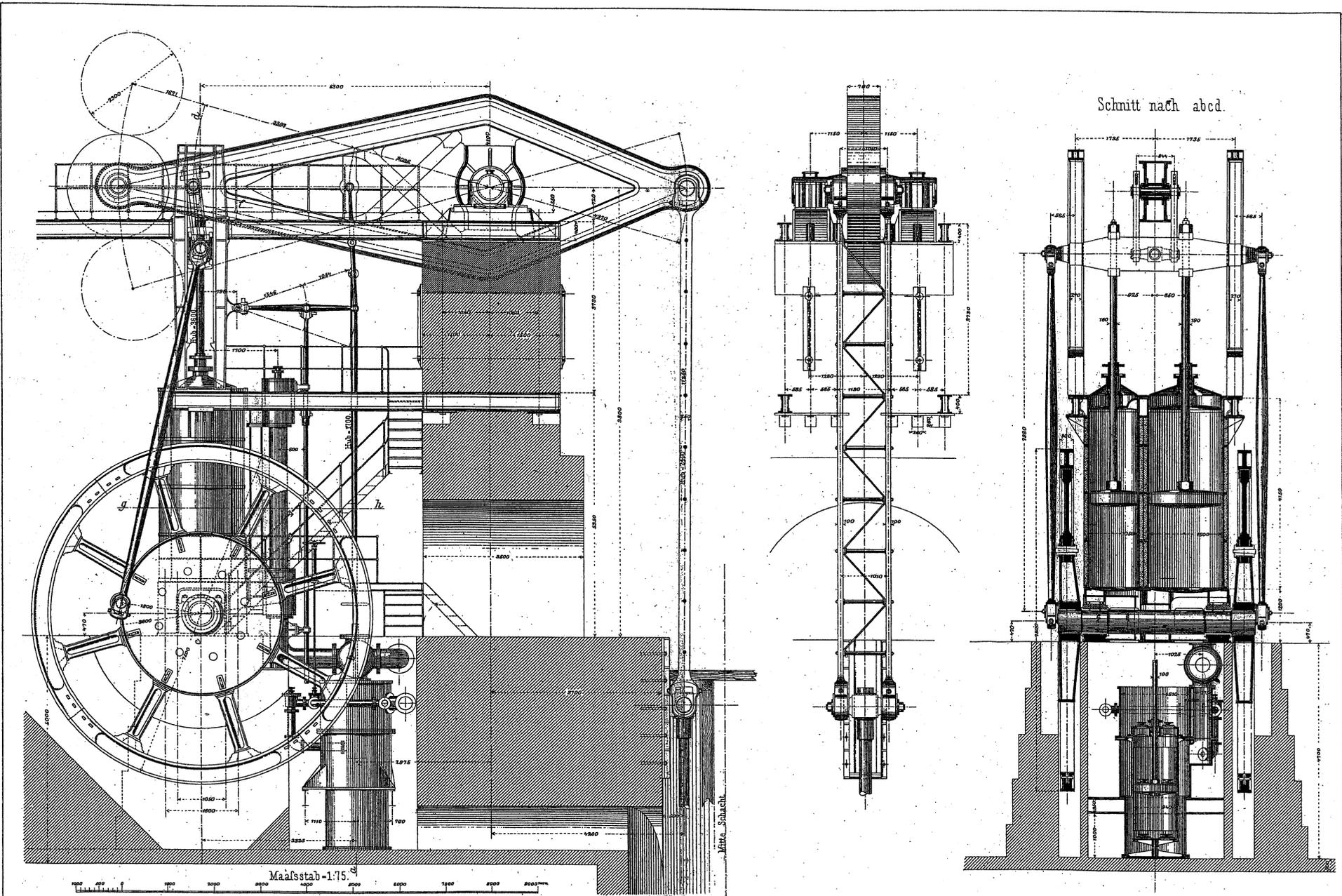
#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Originalzeichnung der Gesamtmaschine wurde in Tusche und Ziehfeder auf Papier gezeichnet. Sie ist nicht erhalten geblieben. Die in der Tafel gezeigte Darstellung wurde für Werbe- und Präsentationszwecke sowie für Veröffentlichungen in technischen Fachzeitschriften angefertigt. Die Zeichnung mit Schnitten, Mittellinien und Hauptmaßen ist im Stil technischer Zeichnungen gehalten und entspricht weitgehend der Ausgangszeichnung. Schattierungen durch eng gestellte Parallellinien sind sparsam eingesetzt worden. Die Abbildung zeigt nur einen Teil der zeichnerischen Dokumentation. In der Gesamtdarstellung sind alle Funktionen vollständig beschrieben.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Anfang der 1880er Jahre wurden technische Darstellung ohne Zierrat, sehr sachlich dargestellt. Einzig der Einsatz von Strichschattierungen weist noch auf die Phase der kolorierten Zeichnungen mit Lavierungen hin. Die Hauptabmessungen sind vollständig eingetragen. Zum leichten Abgreifen von Zwischengrößen ist unten rechts eine

Maßstabsleiste eingezeichnet. Die Verwendung von Ansichten und Schnitten ist in den Zeichnungen der Zeit weitgehend einheitlich. Es gibt geringe Unterschiede zwischen den Zeichnungen unterschiedlicher Hersteller. Auch die technischen Darstellungen in den Periodika haben z.T. einen „zeitschriftenbezogenen Stil“.



Tafel 3.25/1: Zeichnung einer rotierenden Wasserhaltungsmaschine  
(1881)

### 3.26 Hydraulischer Mechanismus einer Drehbrücke (1882), Tafel 3.26/1 und 2

Drehbrücken wurden zur Bewältigung des Landverkehrs eingesetzt, wenn Gewässer zu überbrücken waren, auf denen Schiffe mit feststehenden Masten, beispielsweise Küstenfahrer u.ä., verkehrten. Die Drehbrücke wurde vor dem Passieren von Schiffen geschwenkt. Voraussetzung für den Bau war, dass es möglich sein musste, in der Mitte des Gewässers ein Stützgemäuer für den Dehsockel, den sogenannten Drehpfeiler, zu errichten. Das Beispiel zeigt die Niederbaum-Drehbrücke in Hamburg und Teile der hydraulischen Drehmechanik. Die 1882 veröffentlichten Zeichnungen zeigen nur einen kleinen Teil der Anlage. Die Brücke wurde in der Zeit zwischen 1878 bis 1880 erbaut. Die dreiteilige Brücke hatte zwei feste Öffnungen von 22,1 m Stützweite und eine zweiarmige, symmetrische Drehbrücke mit einer Stützweite von 36 m. Alle drei Brücken hatten eiserne, parabolische Hauptträger.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Zeichner

Erste Entwürfe der Brücke wurden von Wilh. Vollhering aus Hamburg schon vor 1880 angefertigt. Vom Konstrukteur der endgültigen Zeichnung liegen keine Informationen vor. Die lithographische Vorlage wurde nach dem Bau der Brücke im Jahr 1882 angefertigt. Vorlage war die technische Zeichnung der Brücke.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Die Zeichnung diente zur Präsentation und Darstellung der Funktion.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Üblich waren Drehbrücken, die nach einer Richtung durch Drehung um 90° geöffnet und durch zurückschwenken um 90° geschlossen werden konnten. Die Niederbaum-Drehbrücke wies die Besonderheit auf, dass sie auch zum Durchdrehen eingerichtet war. Die Drehung der Brücke konnte durch Menschenkraft oder, das war der Regelfall, durch den hydraulischen Mechanismus erfolgen. Sämtliche Mechanismen befinden sich auf dem Drehpfeiler in der Mitte. Der hydraulische Mechanismus wird durch Druckwasser der „Stadtwasserkunst“ betrieben. Die rechnerische Wasserhöhe der „Stadtwasserkunst“ lag bei ca. 20 m.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

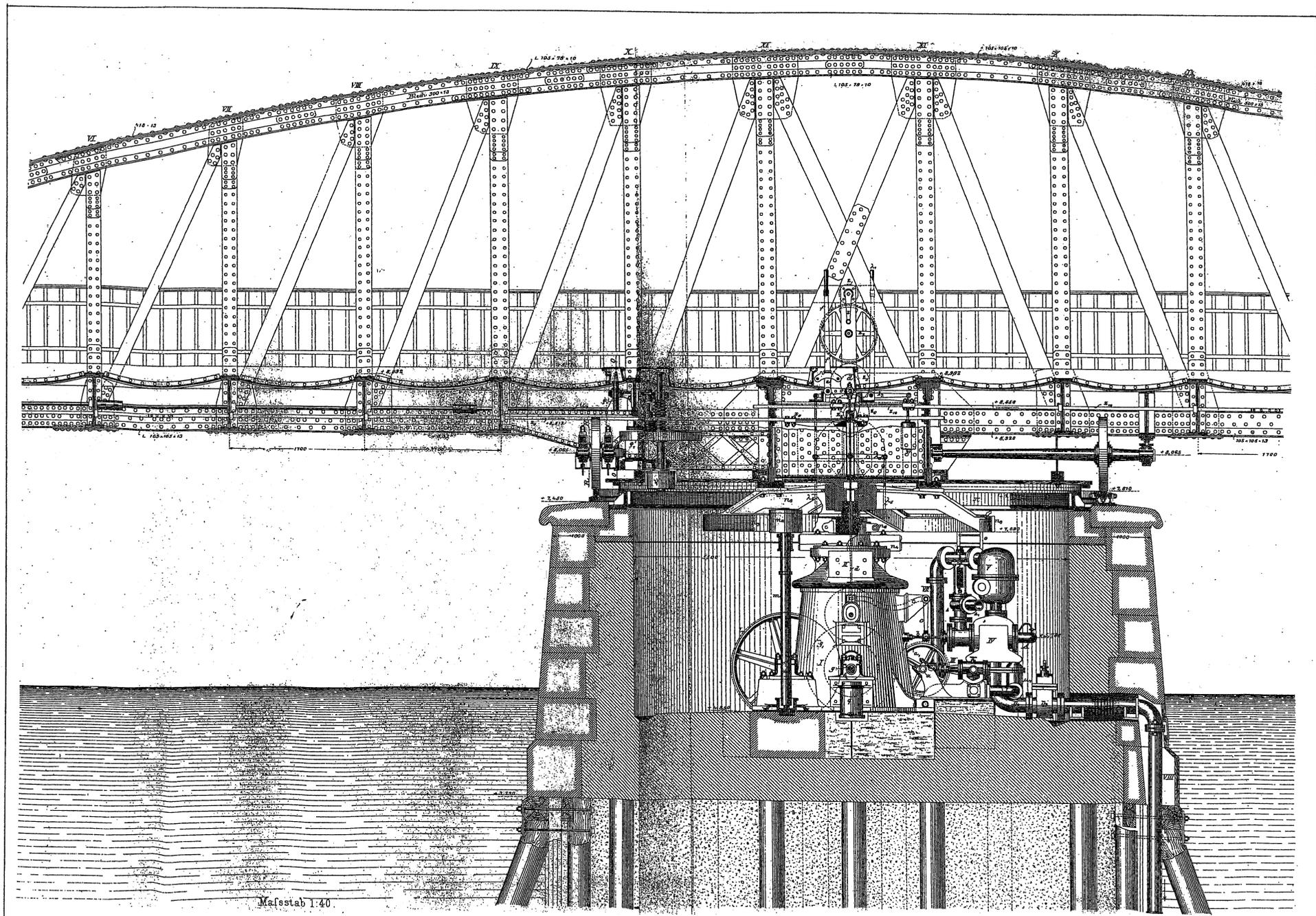
Durchdrehende Drehbrücken dieser Größe waren in Deutschland sehr selten. Auch der hydraulische Antrieb mit Druckwasser ist außergewöhnlich. Üblich bei Drehbrücken waren mechanische Antriebe, ggf. mit Unterstützung durch eine Dampfmaschine. Der Druckwasserbetrieb bot sich in diesem Fall an, da die Versorgung des mitten im Gewässer liegenden Drehpfeilers schwierig war. Druckwasser war vorhanden und das verbrauchte Wasser konnte einfach in das Gewässer geleitet werden.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Zeichnungen zeigen nur einen kleinen Teil der Funktionen. Die lithographischen Vorlagen wurden für eine Veröffentlichung angefertigt und außerordentlich sorgfältig verkleinert. Es wurden typische Elemente von Bauzeichnungen, Stahlbauzeichnungen und Maschinenbauzeichnungen verwendet. Überwiegend sind Aufriss- und Grundrissdarstellungen eingesetzt worden. Maßstabsskalen erleichtern die Größenorientierung.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Darstellungen sind, wie die im vorangegangenen Beispiel, sehr sachlich gehalten. Details sind sehr sorgfältig und genau gezeichnet. Die Strichschattierungen sind sparsam eingesetzt worden. Deutlich ist der Versuch erkennbar, die in den verschiedenen am Bau beteiligten Gewerke üblicherweise unterschiedlichen Darstellungsarten in ein gemeinsames zeichnerisches System zu integrieren.



Maßstab 1:40.

Tafel 3.26/2: Zeichnung des hydraulischen Mechanismus der Drehbrücke (1882)

### 3.29 Wasserrohrkessel (1906), Tafel 3.29/1,2 und 3

Die dargestellten Wasserrohrkessel wurden in Dampfselbstfahrern, in sogenannten „Straßenzügen“, der Freibahngesellschaft aus Seegefeld verbaut. Der Hersteller fertigte ab 1902 etwa 10 Jahre lang diese automobilen Straßenzüge. Die Idee war, das Prinzip der Eisenbahn mit den neuesten technischen Möglichkeiten der Zeit wieder auf die Straße zu bringen, also eine große, schwere Zugmaschine sollte eine Vielzahl von Anhängewagen ziehen.

Das absolut Neue war, dass die dampfgetriebene Zugmaschine und die Anhängewagen ein aufeinander abgestimmtes System waren. Bis zu sechs Anhängewagen konnten gezogen werden. Der Zug war in der Lage, engste Kurven durchfahren zu können, er besaß gute Bremsen und der gesamte Zug konnte kontrolliert rückwärts gesetzt werden. Neu war auch die Verwendung von schnell aufheizbaren, sehr leistungsstarken Wasserrohrkesseln mit Feuerung durch Schweröle. Diese Kesselkonstruktionen waren bei Straßenfahrzeugen dieser Größe einmalig.

#### Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Zeichner

Die Zeichnungen wurden zwischen 1904 und 1906 von unterschiedlichen Kesselherstellern angefertigt. Die Zeichner sind nicht bekannt.

#### Bildanfertigung, Zeichentechnik

Die Zeichnungen wurden als Basis für die behördlichen Genehmigungen verwendet. Mit einer umfangreichen schriftlichen Bescheinigung zur Ausführung der Kessels und deren Prüfung waren sie Bestandteile der Genehmigungsakten. Die Tuschezeichnungen waren auf behandeltem Leinen gezeichnet.

#### Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die eigentlichen Kessel bestanden aus einem schmalen, senkrecht stehenden Wasserkasten, einem oben liegenden, zylindrischen Dampfsammler und einer Vielzahl an gebogenen Wasserrohren. Das gesamte Paket aus Wasserrohren und dem Dampfsammler lag im Feuerraum. Den äußeren Abschluss des Feuerraums bildeten gut isolierte Blechverkleidungen.

Zur Feuerung dienten zwei bzw. drei unten liegende Brenner. Sie wurden mit billigem „Teeröl“ u.ä. befeuert. Das Öl war bei Raumtemperatur allerdings nur bedingt fließfähig. Es musste mit Hilfe von Dampf vorgewärmt werden und brannte nur als fein verteilter Nebel. Die Aufwärmung und Zerstäubung übernahm ein spezieller Brenner mit einer Dampfdüse und einer Öldüse. Der Feuerraum füllte den gesamten Innenraum der Verkleidung.

#### Technikgeschichtliche Bedeutung

Die Verwendung dieser Kesselkonstruktion ist bisher nur bei den Straßenzügen der Freibahngesellschaft festgestellt worden.

#### Analyse der zeichnerischen Darstellung

Jeder ortsveränderliche Dampfkessel unterlag einer einmaligen Abnahmeprüfung vor der ersten Inbetriebnahme und regelmäßigen Folgeprüfungen. Die Zeichnungen sind Originaldokumente aus den umfangreichen Abnahmeakten der Kessel vor der ersten Inbetriebnahme. Sie mussten als amtliche Dokumente jahrzehntelang ihre Informationen unverändert behalten können.

Derartige Dokumente findet man mit viel Glück in den historischen Archiven von Behörden und Museen. An der Abnahme der Kessel waren drei Stellen beteiligt, der Kesselhersteller, der Abnehmer und die prüfende staatliche Behörde. Alle Parteien dokumentierten mit Stempel und Unterschrift die Ausführung und die Durchführung der Abnahme.

#### Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Kessel sind in allen Belangen detailliert gezeichnet. Die Darstellungen enthalten eine Vielzahl schriftlicher Erläuterungen. Eine Maßstabsleiste ermöglicht die Abnahme von Zwischenmaßen. Die Abmessungen einzelner Rohre (Rohrpakete) fasste man üblicherweise

in Tabellenform zusammen. Sie waren wichtig für die Berechnung der effektiven Heizflächen.

Die Zeichnungen wurden nicht auf Papier oder Pergament angefertigt, sondern auf Leinen. Sie waren von Hand koloriert. Je nach Medium (Dampf, Wasser, Öl) in unterschiedlichen Farben.

Den Zustand der Zeichnungen kann man nach gut 100 Jahren als „wie neu“ bezeichnen.

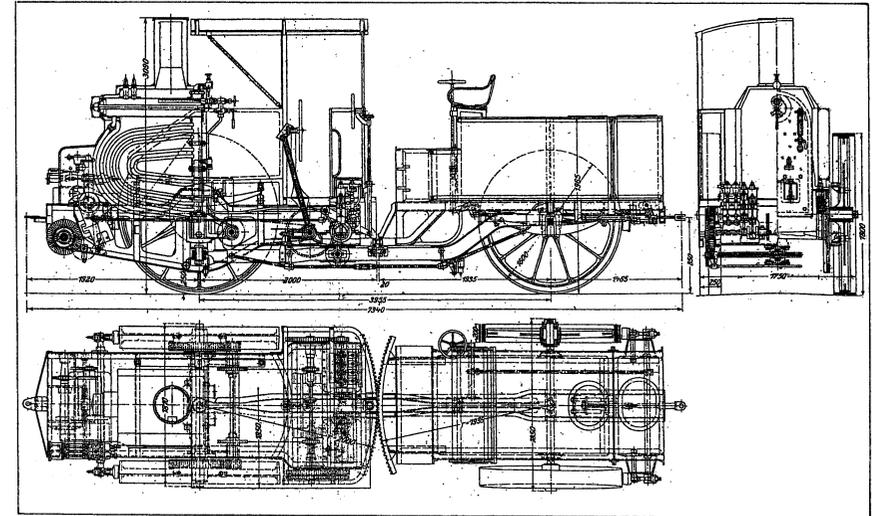


Bild 3.29/1: Zeichnung der Zugmaschine eines Freibahnzuges (1906)

